

Revisión Bibliográfica

Mitos, realidades e incertidumbres sobre la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos en Cuba

José Manuel Febles-González^{1*} 

José Miguel Febles-Díaz¹ 

Nelson Moura Amaral-Sobrinho² 

Everaldo Zonta² 

Ana Victoria Maura-Santiago³ 

¹Centro Investigaciones Marinas. Universidad de La Habana, Calle 16 no.114 e/1^{ra} y 3^{ra}, Miramar. Playa, La Habana, Cuba. CP 10300

²Departamento de Suelos, Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro, Seropédica Seropédica-Río de Janeiro, Brasil. CEP 23.897-000

³Facultad de Contabilidad y Finanzas. Universidad de La Habana, Zapata y G, Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. CP 10 400

*Autor para correspondencia: febles@rect.uh.cu

RESUMEN

Actualmente existe un debate global sobre la degradación de los suelos, su magnitud e impacto agroambiental, sobre lo cual, la experimentación a largo plazo aporta criterios cualitativos y cuantitativos respecto a su capacidad de restauración a través del manejo y uso racional. En este contexto, investigaciones realizadas durante los últimos 30 años confirman que la existencia de procesos de degradación en los suelos Ferralíticos Rojos en Cuba tiene una naturaleza multifactorial, dependiente de las condiciones geólogo – geomorfológicas, eventos meteorológicos extremos y la antropogénesis intensiva. Teniendo en consideración estos aspectos, el presente trabajo realiza una revisión de 10 visiones principales, que han limitado el pleno reconocimiento de las modalidades específicas que asume la erosión hídrica y kárstico – erosiva en estas regiones, que revelan la necesidad de adoptar una política para que su protección deje de ser un mito y se convierta en un asunto de Seguridad Nacional. La experiencia muestra que la falta métodos armonizados de vigilancia y transferencia de información, constituye una de las causas que genera incertidumbre sobre el estado de su degradación.

Palabras clave: Incertidumbre, degradación, regiones kársticas, suelo ferralítico rojo

Recibido: 16/04/2019

Aceptado: 08/04/2020

INTRODUCCIÓN

La incertidumbre, es "la imperfección en el conocimiento sobre el estado o los procesos de la naturaleza" ⁽¹⁾. Para cualquier disciplina científica es bueno mirar atrás y distinguir lo que se ha logrado, cómo fue hecho y si algo puede aprenderse del pasado. Con relación a la Ciencia del Suelo, no es solo mirar atrás, sino adelante, para que puedan producirse avances científicos.

Cada día el número de investigaciones y publicaciones edafológicas aumenta en tal proporción, que han perdido su capacidad para obtener conclusiones objetivas a partir de informes científicos, sobre los efectos de uno o más factores objeto de estudio, expresados con amplia incertidumbre debido a que los tamaños de muestra o escala de trabajo son insuficientes ⁽²⁾, modulada por el factor antropogénico en los últimos 300 años de forma tal que se ha planteado una nueva era geológica denominada Antropoceno ⁽³⁾.

En Cuba una generación de edafólogos se está retirando y hay pocas posiciones nuevas creadas, por lo se hace necesario enfrentar este cambio y asegurar el conocimiento con los métodos disponibles para entender y manejar mejor nuestros suelos. Nunca los científicos han tenido tantos problemas pedológicos para investigar como se tienen hoy. Para ello es necesario enfatizar la investigación en regímenes agroambientales de superficies geográficas, a fin de determinar los efectos en una dimensión espacio – temporal donde las regiones kársticas imponen su singularidad.

El estudio de los ambientes geológicos de formación de los suelos Ferralíticos Rojos, se iniciaron durante la tercera década del pasado siglo ⁽⁴⁾, que marcaron un hito en la pedología cubana y muy especialmente en su geografía. Con posterioridad numerosos investigadores (especialmente en la década de los años ochenta) sustentaron sus tesis de doctorado en temas relacionados con su génesis y geografía lo que denota el incuestionable valor edafológico – patrimonial y singularidad que poseen estos suelos para Cuba ⁽⁵⁾.

Tomando como referencia investigaciones y artículos publicados por más de tres décadas que revelan los efectos de la morfogénesis kárstica asociada a los suelos Ferralíticos Rojos en la Llanura Kárstica Meridional Habana – Matanzas, el presente trabajo realiza un examen objetivo de los principales resultados que han propiciado ciertos mitos e incertidumbres sobre estos suelos a los que el Instituto de Suelos ⁽⁶⁾, continúa clasificándolos como "no erosionados", situación sobre la cual resulta imperativo recapacitar para así prevenir la degradación secuencial de los suelos más productivos de Cuba.

Algunos antecedentes necesarios

El término karst es un vocablo utilizado para referirse a la superficie de la tierra cuando las calizas u otras rocas solubles son las dominantes ⁽⁷⁾. En estos ambientes el relieve se

caracteriza por la diversidad de formas negativas como las depresiones tipo dolinas y uvalas, y positivas como las alturas kársticas o “karst de mogotes” con tamaños que varían desde milimétricas como los lapiaz hasta las poljes de grandes extensiones ^(8,9). Las condiciones básicas para la formación del karst de acuerdo con ⁽¹⁰⁾, son tres, el factor litológico, el estructural y el climático. Posteriormente se incorporaron dos factores más, la vegetación y el tiempo de exposición de la roca al intemperismo.

En la actualidad existe un debate global sobre la degradación de los suelos, su magnitud e impacto agroambiental, que sólo podrá resolverse a través de la evaluación sistemática y la experimentación a largo plazo para obtener criterios sobre sus funciones específicas y uso racional ⁽¹¹⁾. Sin embargo, los estudios de la erosión de los suelos en las regiones kársticas resultan muy escasos, dada su singularidad geomorfológica, climática y biogeográfica con fenómenos que ocurren a diferentes escalas espaciales y temporales que pueden abarcar miles de hectáreas o cientos de años ⁽¹²⁾, que influyen en las estimaciones de la erosión y en la modelación.

El karst cubano se ha desarrollado sobre unidades litológicas de tipo carbonatadas cuya edad varia de pre - Jurásica a Cuaternario, ambos inclusive ⁽¹³⁾. En él se encuentran las más importantes reservas de agua subterránea, yacimientos de petróleo, importantes minerales útiles y prácticamente las cuatro quintas partes de la población de la nación se sirve o aprovecha de sus recursos naturales ⁽¹⁴⁾. En este contexto los suelos Ferralíticos Rojos constituyen una importante categoría por la amplia extensión que ocupan y son predominantes los del Tipo Ferralítico Rojo Lixiviado, que se pueden correlacionar con el Nitisol ródico éutrico ⁽¹⁵⁾, donde las diferencias están dadas por el tipo de utilización de la tierra y la distribución de los horizontes.

Mito: Su distribución geográfica solamente en regiones de llanuras

En el archipiélago cubano los suelos Ferralíticos Rojos representan el 23.56 % del fondo de tierras agrícolas a nivel nacional y se distribuyen fundamentalmente en la Llanura Costera Meridional Habana - Matanzas (45 600 km²), así como en la Llanura Calcárea del Oeste de Camagüey (1 800 km²) y aisladamente en las provincias orientales y en Pinar del Río ⁽¹⁶⁾. Asimismo también están presentes ⁽¹⁷⁾ en menor extensión en ambientes de laderas tipo horst de cimas planas ⁽¹⁷⁾ (Figura 1).



Figura 1. Distribución espacial de los suelos Ferralíticos Rojos en las Alturas de Nazareno, provincia Mayabeque, Cuba

Teniendo en consideración estos aspectos ⁽¹⁸⁾, precisó la necesidad de diferenciar al menos tres magnitudes principales del relieve (macro, meso y microrelieve), a las cuales deben quedar referidos el conjunto de procesos que participan en la formación o degradación de la cobertura pedológica, para que las formas kársticas sean reconocibles (escalas 1:5 000; 1:2 500 y mayores), y sean consideradas como manifestaciones que pueden limitar objetivamente la productividad de los suelos Ferralíticos Rojos. La aplicación de métodos geoestadísticos y las técnicas de análisis espacial para tales ambientes, ayudarán en el futuro a resolver algunas de estas dificultades ⁽¹⁹⁾.

Realidad: Desconocimiento de la influencia del ambiente geológico

El archipiélago cubano se caracteriza por la manifestación intensa de fenómenos kársticos particularmente las provincias Mayabeque y Artemisa que poseen entre el 80 – 85 % de su territorio karstificado ⁽¹⁹⁾, donde son notables las formas exokársticas como dolinas, uvalas y micro valles rellenos generados por la disolución del sustrato carbonatado, dada su capacidad para colectar, transformar o drenar las aguas superficiales y subterráneas ⁽²⁰⁾. A pesar de disponerse de abundante bibliografía sobre la influencia de las rocas madres y cortezas de meteorización, las condiciones geológicas y litoestructurales de la erosión de los suelos en las regiones kársticas han sido en general poco estudiadas (Tabla 1) ⁽²¹⁾.

Tabla 1. Valores de las tasas de formación de los suelos Ferralíticos Rojos en Cuba

Características	Tasas formación (mm año ⁻¹)	Referencias
Edad de los eluvios de calizas en la Llanura Sur de las provincias Mayabeque y Artemisa		
Derivados de rocas con 10 % de impurezas se necesita un millón de años para alcanzar 15 m de profundidad	0,05	(22);
Derivados de calizas con 1 % de impurezas, se necesitaría unos dos millones de años para alcanzar dos metros de profundidad.	0,01	(23,24)

Entre los trabajos clásicos que han considerado este enfoque pueden citarse los realizados por ⁽²⁵⁾ en la Empresa “Ciro Redondo” del municipio Agramonte provincia de Matanzas; ⁽²⁶⁾ en Melena del Sur; ⁽²⁷⁾ en Catalina de Güines; ⁽²⁸⁾ en toda Cuba para determinar las propiedades estructuro – funcionales; ⁽²⁹⁾ en las inmediaciones de una dolina en la región de Quivicán y por ⁽³⁰⁾ en regiones kársticas del occidente de Cuba.

Investigaciones geofísicas realizadas en el polje de San José de Las Lajas confirman la actuación de una serie de complejos procesos internos y externos que han dado lugar a la formación de un modelado particular (Figura 2), en el cual el CO₂ de origen biogénico ha sido uno de los factores principales que intervienen en la disolución de las calizas y la generación de procesos de karstificación que tienen lugar a través de innumerables grietas y fisuras con diferentes diámetros (desde capilares hasta de 2 mm de amplitud) y longitudes (hasta de 15 - 20 m), que se difunden espacialmente por todo el macizo kárstico ⁽³¹⁾.

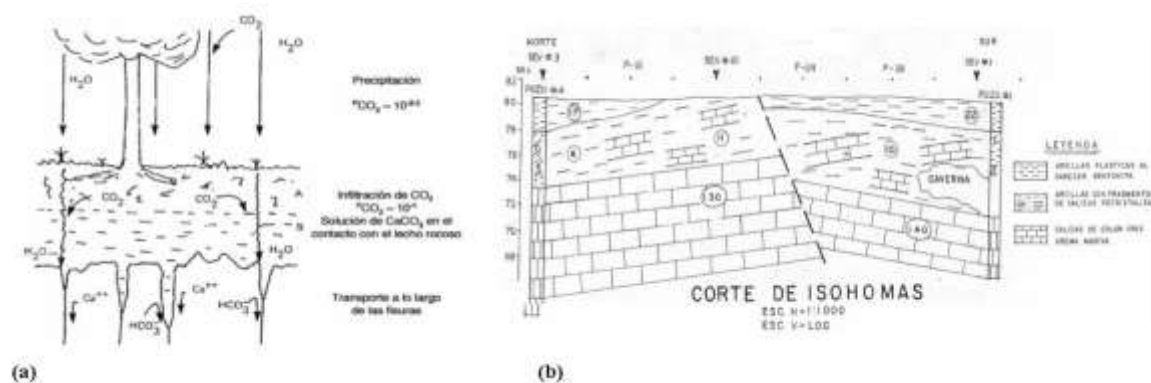


Figura 2. (a) Dinámica de los procesos kársticos ⁽³¹⁾ y (b) sondeo eléctrico vertical en dolinas de la polje de San José de Las Lajas, provincia Mayabeque ⁽³⁰⁾, Cuba

En tanto en las Alturas del Grupo Bejucal – Madruga – Coliseo se observan diferenciadamente en las vertientes y en los sistemas depresiones – cavernas, karst desnudo y parcialmente desnudo que muestran prácticamente todas las características de los relieves de la denudación kárstica ⁽³²⁾. La litología es por tanto el factor esencial en estos ambientes, ya que determina la propia existencia e irreversibilidad del proceso kárstico (evolución unidireccional) y modula la casi totalidad de los procesos edafogénicos a través de formas en constante evolución.

Realidad: Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos

Respecto a la modificación de las propiedades (Tabla 2), los efectos más notables se expresan principalmente a las profundidades de los horizontes de diagnóstico A+B_{0-50 cm} con

el descenso progresivo de los contenidos de materia orgánica, aumentos del pH, valores de compactación con umbrales de densidad aparente superiores a $1,34 \text{ Mg.m}^{-3}$, reforzamiento de los procesos kárstico - erosivos, salinización, entre otros, con marcada tendencia a incrementarse, lo cual ha recibido diferentes denominaciones como “formación agrogénica de los suelos” ^(15,33) y degradación irreversible ⁽³⁴⁾. Según ^(35,36) el contenido inicial de materia orgánica de estos suelos superaba con amplitud el 10 %, en la actualidad se encuentra entre el 3 – 4 % y al parecer no cesa su decrecimiento, deteriorándose al unísono las propiedades físicas que los caracterizaban ⁽³⁷⁾.

Tabla 2. Comportamiento estadístico de algunas propiedades de los suelos en la Llanura Kárstica Meridional Habana - Matanzas, Cuba ⁽³⁸⁾

	Total de mediciones	Valores			Desviación estándar
		Mínimo	Máximo	Medio	
Ca	229	3,00	62,50	*22,32	13,32
Mg*	229	1,10	50,00	6,14	4,27
P*	229	0,10	901,00	96,16	141,94
CCB	229	4,70	71,75	29,22	15,43
MO	229	0,05	6,90	2,00	1,23
pH (H ₂ O)*	226	5,48	8,32	7,62	0,56
pH (K Cl)*	226	4,96	7,77	6,92	0,60
Da	229	0,92	1,99	1,30	0,18
RP 10 - 15 cm **	94	0,40	3,80	1,51	0,76
RP 20 - 30 cm **	89	0,00	3,90	1,91	0,75
RP 35 - 40 cm **	79	0,33	4,4	1,94	0,75

*Distribución logarítmica ** Expresada en M Pa

Respecto al equilibrio ácido – base (Tabla 3), se destacan en la actualidad los profundos cambios que han tenido lugar a lo largo del tiempo evidenciados en el elevado promedio del pH (7,62) ⁽³⁹⁾. Asimismo ⁽⁴⁰⁾, ha comprobado este fenómeno de basificación (incremento del pH) y lo ha asociado al cambio climático principalmente al aumento de la temperatura media anual y la temperatura mínima anual registrada en los últimos 20 años, en especial en las áreas destinadas a cultivos varios.

Adicionalmente ⁽⁴¹⁾ indican que la alcalinización (actual o potencial) de los suelos en la Llanura Roja Habana - Matanzas obedece también a factores antrópicos, relacionados con el uso durante décadas de aguas bicarbonatadas cálcicas para el riego agrícola.

Tabla 3. Valores promedios del pH en (H₂O) por profundidades en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, según uso agrícola

Tipo de perfil	Número de perfiles	Profundidad (cm)			
		0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 100
Patrón	6	6,89	6,46	6,18	6,16
Conservado	14	6,79	6,70	6,46	6,47
Cultivado	18	7,19	7,05	6,99	6,83

Es de significar que en más de dos décadas no se han realizados estudios sobre los suelos en Cuba que puedan brindar una información más actualizada sobre estos parámetros. Hay eso sí, una inmensa cantidad de estudios sobre diversos suelos en particular, de los que se podría extraer, después de mucho trabajo de gabinete, esta información ⁽⁴²⁾.

Mito: Los suelos Ferralíticos Rojos no se erosionan

La utilización de nomenclaturas y técnicas de medición diferentes, han generado problemas de comparación y son frecuentes estimaciones de pérdidas disímiles del estado de erosión de los suelos en el país ⁽⁴³⁾. En este contexto, resulta relevante significar, que los métodos e indicadores seleccionados por el Ministerio de la Agricultura ^(44,45) para determinar el grado de erodabilidad, no han evaluado integralmente los ambientes geológicos de formación, sobrevalorando la profundidad, como el índice de diagnóstico fundamental ⁽⁴⁶⁾ a partir de una muy somera adaptación de la Clasificación del Soil Survey Staff ⁽⁴⁷⁾ a las condiciones edafoclimáticas de Cuba, como se evidencia en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Clasificación del Soil Survey Staff, U.S

Grado de erosión	Pérdidas
Erosión ligera	Remoción y arrastre del 25 por 100 de la capa superficial arable (menor de 5 cm)
Erosión moderada	Remoción y arrastre del 25 – 75 por 100 de la capa superficial arable (5 - 15 cm)
Erosión severa	Remoción y arrastre de más del 75 por 100 de la capa superficial arable y de parte del subsuelo (más de 15 cm)
Erosión muy severa	Remoción y arrastre de la mayoría del perfil del suelo

Esto último se expresó en los mapas de erosión actual y potencial elaborado por ^(48,49) y más recientemente por ⁽³²⁾, en que suelos profundos como los Ferralíticos Rojos, son clasificados como no erosionados (100 puntos) ⁽⁵⁰⁾, mientras que los pocos evolucionados o esqueléticos son clasificados como erosionados.

Tabla 5. Evaluación de las pérdidas de suelos por erosión

Grado de erosión	Pérdidas
Erosión muy leve o nula	Pérdidas del horizonte A en un 25 %
Erosión moderada	Pérdidas del horizonte A entre un 25 – 75 %
Erosión severa	Pérdidas del horizonte A en un 75 % y hasta un 25 % del horizonte B
Erosión muy severa	Pérdidas del horizonte B entre un 25 – 75 %

Sin embargo, investigaciones realizadas por ⁽⁵¹⁾ en la subcuenca Pedroso – Mampostón con la aplicación del modelo Morgan, Morgan y Finney ⁽⁵²⁾, reportan una remoción promedio hacia las depresiones kársticas entre 13.4 - 17.4 t.ha⁻¹.año⁻¹ que sobrepasan los límites permisibles en términos de erosión (Tabla 6), con un pronóstico de pérdidas para escenarios futuros (período de 25 y 50 años) de 1.07 mm.año⁻¹ del horizonte superficial, que supera los valores de tolerancia propuestos por la USLE ⁽⁵³⁾ y las tasas de formación de suelos derivados de rocas calizas en Cuba ⁽²⁴⁾.

Tabla 6. Pérdidas de suelos en las dolinas aplicando el modelo MMF ⁽⁵²⁾ en las localidades “Rosafé Signet” y “Aljibe” ⁽⁵⁾

Escenario 1986 - 2009									
C1 (Aparentemente no erosionado)									
Dolina No.	Horizonte A (0 - 490 mm)				Horizonte A (0 - 490 mm)				C.V. (%)
	Pérdida de suelo (t ha ⁻¹ .año ⁻¹)				Pérdida de suelo (mm año ⁻¹)				
	1986	1997	2009	Mean	1986	1997	2009	Mean	
1	15,957	17,82	17,649	17,227	1,228689	1,37214	1,358973	1,326479	5,97
2	17,631	16,917	20,208	18,46	1,357587	1,302609	1,556016	1,42142	9,37
3	21,357	22,128	23,613	22,554	1,644489	1,703856	1,818201	1,736658	5,08
4	14,847	14,244	14,262	14,442	1,143219	1,096788	1,098174	1,112034	2,37
5	10,011	8,355	11,91	10,345	0,770847	0,643335	0,91707	0,796565	17,19
6	9,39	9,729	10,425	9,876	0,72303	0,749133	0,802725	0,760452	5,34
7	10,686	17,142	12,042	13,894	0,822822	1,319934	0,927234	1,069838	24,5
8	12,024	10,029	12,381	11,566	0,925848	0,772233	0,953337	0,890582	10,95
9	9,012	10,143	10,668	10,142	0,693924	0,781011	0,821436	0,780934	8,34
10	10,725	11,514	12,306	11,58	0,825825	0,886578	0,947562	0,89166	6,82
11	16,068	20,226	19,419	18,885	1,237236	1,557402	1,495263	1,454145	11,67
12	13,038	13,077	14,319	13,548	1,003926	1,006929	1,102563	1,043196	5,38
13	16,653	18,12	18,816	17,97	1,282281	1,39524	1,448832	1,38369	6,14
14	10,275	11,628	13,038	11,814	0,791175	0,895356	1,003926	0,909678	11,69
15	---	---	14,073	---	---	---	1,083621	---	---
16	---	---	36,897	---	---	---	2,841069	---	---
Mean	12,329	13,292	13,707	---	0,949333	1,023484	1,05543	---	---

Reflexionando sobre estos enfoques ⁽⁵⁴⁾, propusieron un sistema integrador de métodos cualitativos y cuantitativos (Tabla 7), que permite precisar los agentes principales que intervienen como causas, los componentes del medio geográfico, que participan como

factores y que provocan el surgimiento y diferenciación espacial de los procesos y formas erosivas presentes.

Tabla 7. Secuencia metodológica y aportes de los principales métodos de investigación para evaluar la erosión de los suelos en Cuba

Métodos	Descripción para su aplicación
Geográfico comparativo	– Caracteriza el ambiente geológico de formación en que transcurren los procesos de pedogénesis – karstogénesis tanto en el contexto actual como paleogeográfico y en sentido más amplio, la dinámica de las propiedades de los suelos bajo diferentes condiciones de uso y manejo.
Descripción de perfiles y toma de muestras de suelos	a. Selección de perfiles principales y puntos de control en los tercios superior, medio e inferior en las flexuras del microrelieve. b. Descripción morfológico – genética de los horizontes de los suelos. c. Toma de muestras por profundidades cada 10 cm. a partir de la superficie hasta la profundidad de los horizontes de diagnóstico erosivo A + B ₀₋₅₀ cm. De ese nivel en adelante cada 20 cm. hasta profundidades nunca inferiores al metro. d. Selección en el transepto o toposecuencia de los perfiles con horizontes completos (sin erosión aparente), en calidad de perfiles de referencia o patrones. e. Utilización de la nueva Clasificación de los Suelos de Cuba ⁽⁵⁵⁾ .
Morfoedafológico	Desde una perspectiva genética permite acceder al medio biofísico tanto en su descripción como en su dinámica, y precisar las fases de los procesos erosivos (incipiente o paroxismal).
Geofísico (sondeo eléctrico vertical) y perfilaje eléctrico	En las regiones kársticas permite caracterizar las condiciones morfoestructurales del subsuelo y el grado de desarrollo de los procesos cársicos.
Cartografía temática de factores en el ambiente de un SIG	Evalúa de forma cualitativa el riesgo de erosión potencial y actual de la cobertura edáfica. a. Método CORINE ⁽⁵⁶⁾ , para la generalidad de los ambientes morfoedafológicos. b. Método EVERC ⁽⁵²⁾ , para los geosistemas kársticos.
Modelos de erosión	a. Evalúan cuantitativamente la magnitud de pérdida de suelos. b. En dependencia de la disponibilidad de los datos se seleccionarán algunos de los propuestos por la literatura mundial especializada. c. En las regiones kársticas en correspondencia con la fase de la morfogénesis kárstica (incipiente o paroxismal), se sugiere emplear el modelo de MMF ⁽⁵⁷⁾ .

Subrayan, además, que en las regiones kársticas no es posible aplicar los mismos métodos, medios y escalas de representación utilizados para otros geosistemas, por ello resultaría estratégico que de los 62 polígonos o áreas demostrativas de Conservación de Suelos, Agua y Bosques que el Ministerio de la Agricultura (MINAG) tiene distribuidos por todo el país ⁽⁵⁸⁾, se estableciera al menos uno en áreas de suelos Ferralíticos Rojos.

Incertidumbre: Los efectos del cambio climático

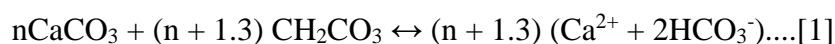
Las predicciones realizadas en los diferentes escenarios de cambio climático indican que las precipitaciones en Cuba, se incrementarán en algunas regiones, mientras que en otras aumentará la sequía, en una distribución temporal y espacial bastante irregular ^(6,59-61).

No obstante, en la Llanura Kárstica Habana – Matanzas no existen cambios significativos en las principales variables climáticas (Tabla 8), en especial de la temperatura media superficial y los niveles de precipitaciones promedios, por lo que no resulta concluyente atribuir categóricamente al influjo del cambio climático los procesos de degradación de los suelos ⁽⁶⁰⁾, aunque sí a la erosividad pluvial asociada a eventos meteorológicos extremos a los que se le adicionan más de 50 años de prácticas agrícolas inadecuadas de explotación de la cobertura edáfica y uso de los recursos de forma irracional, que hace que la productividad de los mismos sea muy vulnerable a las variaciones futuras del clima; la resiliencia dependerá de la magnitud de las amenazas y del acierto en las prácticas de manejo.

Tabla 8. Principales variables climáticas de la Llanura kárstica Habana – Matanzas, Cuba

Estaciones meteorológicas	Referencia (1960 - 1990)				Referencia (1991 - 2011)			
	T max (°C)	T min (°C)	T media (°C)	Prec (mm)	T max (°C)	T min (°C)	T media (°C)	Prec (mm)
Stgo de LasVegas	29,6	20,2	24,9	128,3	29,8	20,2	25,0	134,4
Güira de Melena	30,2	19,5	24,9	108,4	30,5	19,7	25,1	133,8
Batabanó	30,2	19,6	24,9	97,70	30,3	19,5	24,9	121,2
Güines	30,2	19,4	24,8	123,8	30,4	19,3	24,9	124,1
Bainoa	29,5	18,4	24,0	116,4	29,7	18,0	23,9	131,9
Bauta	29,4	19,2	24,3	111,0	29,7	19,5	24,6	126,9
Tapaste	29,2	18,9	24,1	126,6	29,4	19,1	24,3	124,8
Melena del Sur	30,6	19,0	24,8	124,9	30,5	19,5	25,0	130,3
Unión de Reyes	30,9	19,8	25,4	110,5	30,8	19,6	25,2	129,5
Jovellanos	30,3	18,7	24,5	126,5	30,7	18,8	24,8	128,1
Jagüey Grande	31,3	18,8	25,1	123,5	31,4	18,7	25,1	128,1
Colón	31,1	19,3	25,2	108,7	30,6	19,3	25,0	126
Media estaciones	30,2	19,2	24,7	117,2	30,3	19,3	24,8	128,3

Por otra parte, si como resultado de la aplicación de una estrategia de manejo, el porcentaje de C se incrementara en tan solo +0,1 %, traería aparejado un aumento en la capacidad disolutiva de las aguas en 1,3 veces (ecuación 1), cuyas manifestaciones más evidentes resultará la amplitud de las fisuras por corrosión ("cortamiento precoz"), proceso que en los últimos años ha comenzado a experimentar variaciones en respuesta a los estímulos naturales o inducidos ⁽⁶⁰⁾.



En consecuencia, el secuestro de C en áreas kársticas coincidentes con sumideros de CO_2 posee un efecto dual, es decir; beneficioso para el suelo y el geosistema en general al mitigar futuros efectos del cambio climático (Figura 3), pero que al mismo tiempo incrementa la karstogénesis al acidificarse el medio edáfico, dinámica hasta el presente insuficientemente investigada en Cuba ⁽⁶²⁾.

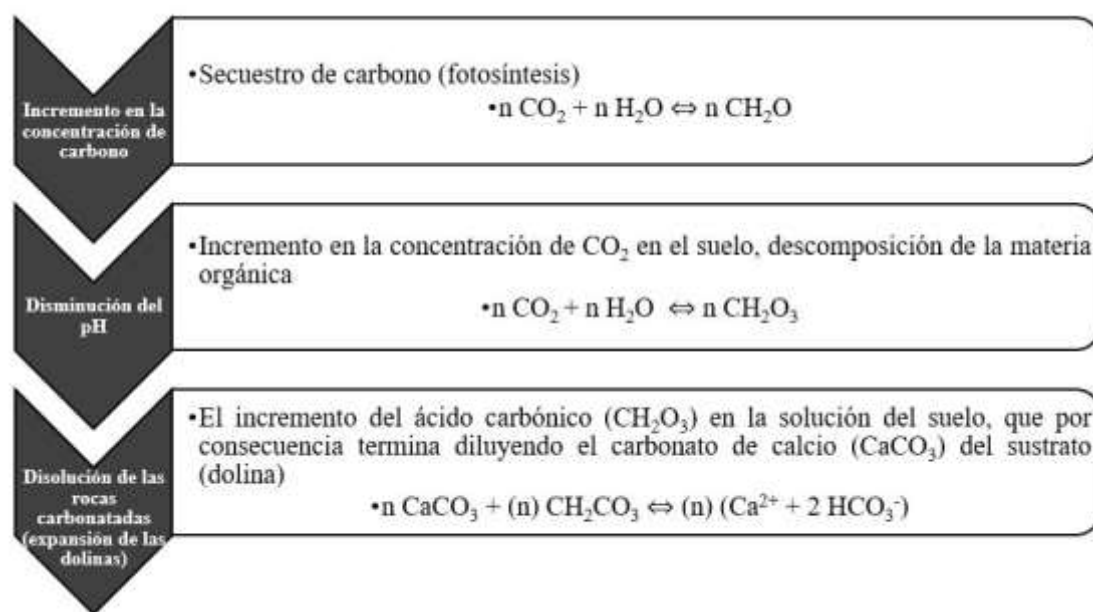


Figura 3. Proceso que promueve el incremento de carbono en el suelo y la disolución del sustrato carbonatado ⁽⁶¹⁾

Realidad: El avance de la morfogénesis kárstica o karstogénesis

En las localidades investigadas se desarrolla una modalidad erosiva inherente a los suelos Ferralíticos Rojos, denominada erosión subsuperficial, como resultado de su remoción hacia las cavidades kársticas, fenómeno descrito en los trabajos pioneros de ⁽⁶³⁾ en estos territorios. Son frecuentes las cañadas kársticas con valles en forma de "U" y "V" que a modo de barreras geomorfológicas se disponen en sentido transversal al declive general que muestran las vertientes interceptando el escurrimiento, así como los productos de la erosión los cuales por esta vía resultan redistribuidos por toda la región (Figura 4).

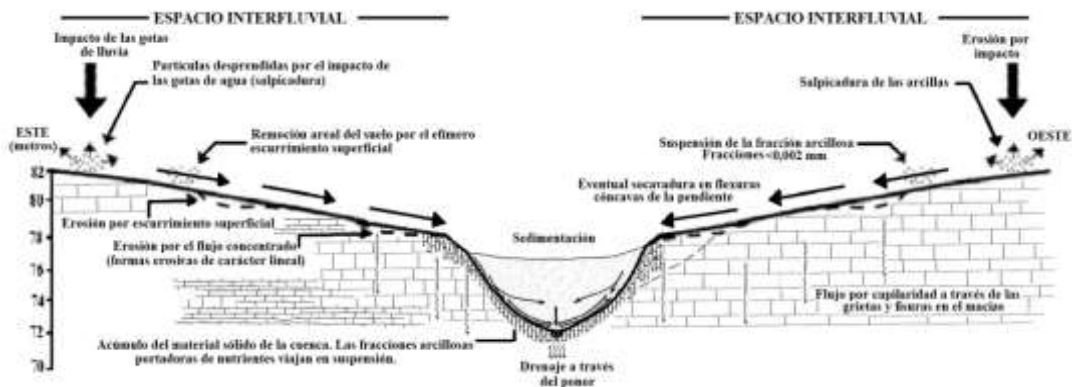


Figura 4. Dinámica de los procesos kársticos – erosivos en un espacio interfluvial en la Llanura Kárstica – Merdional Habana – Matanzas, Cuba

Este efecto "regulador" del flujo superficial resulta con frecuencia uno de los elementos básicos del tejido hidrográfico, donde las formas de absorción y sus elementos componentes ejercen cierto control del escurrimiento superficial y subsuperficial, lo cual coincide con las descripciones de ^(64,65).

En consecuencia la difusión de los productos de la erosión varía de un sector a otro del espacio interfluvial, en conformidad con las peculiaridades del relieve y la permeabilidad del material sustentador, en unos casos su incorporación será directa en la red de drenaje mientras que en otros son incorporados de forma difusa a la red de cañadas kársticas de "heterogeneidad organizada" donde pueden residir un tiempo prolongado, según los casos, dinámica que diferencian claramente a estas regiones de cualquier otra ⁽⁶⁶⁾.

Incertidumbre: La resiliencia de los suelos Ferralíticos Rojos

Cuando se pretende describir la situación de los suelos Ferralíticos Rojos en un contexto espacio – temporal, toda revisión transita por los estados de su aptitud que pueden favorecer, limitar o inhibir la resiliencia, ya que resulta un proceso multifactorial, condicionado no solo por las propiedades intrínsecas de la cobertura edáfica, sino dependiente de las condiciones geólogo – geomorfológicas y condiciones de uso ⁽²¹⁾.

De acuerdo a las tasas seleccionadas para la velocidad de formación de los suelos Ferralíticos Rojos (Figura 5), se renovaría bajo prácticas agrícolas normales el 100 % del horizonte $A_0 - 490 \text{ mm}$ a partir de un perfil de referencia localizado en un área en biostasia a los 50 años, mientras que con el porcentaje de impurezas que posean las calizas se restablecería esa misma profundidad a los 100 y 600 años respectivamente ⁽²¹⁾.

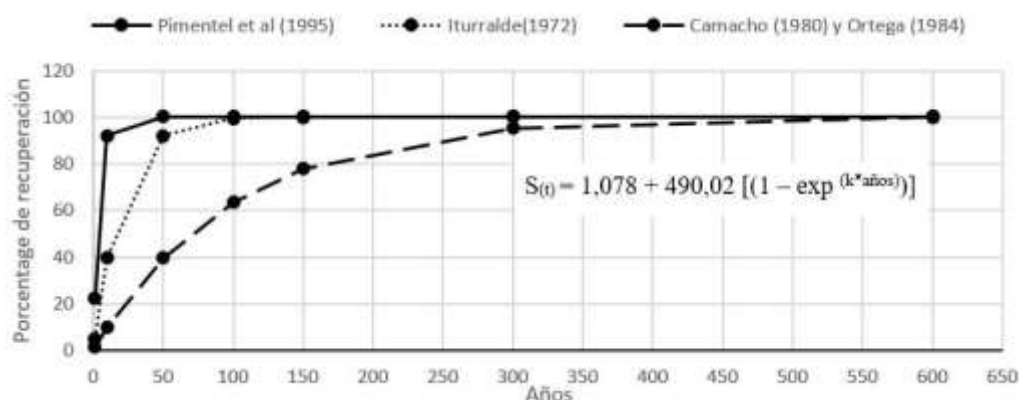


Figura 5. Resiliencia de los suelos Ferralíticos Rojos en las localidades “Rosafé Signet” y “Aljibe”. Provincia Mayabeque, Cuba ⁽²¹⁾

Asimismo una evaluación integral del polje de San José de Las Lajas confirma una evolución del proceso kárstico - erosivo en los últimos treinta años prácticamente imposible de revertir al superar la capacidad de amortiguamiento de los suelos en este peculiar ecosistema, lo que en buena medida ha impedido obtener una visión de conjunto de este problema. En cualquier caso, los ecosistemas kársticos, están sometidos a perturbaciones constantes que dificultan la labor investigativa de la resiliencia. El ignorar o subestimar estos procesos ha propiciado uno de los mitos más ampliamente difundidos de la edafología cubana respecto a la inmunidad de estos suelos a la erosión ⁽⁶²⁾.

Realidad: Relación entre los procesos erosión – sedimentación - contaminación

La cobertura edáfica "archiva" rasgos y propiedades heredadas de fases climáticas y geológicas pasadas, que no están en equilibrio con los procesos edafogénicos actuales ⁽⁶⁷⁾, ello es particularmente importante en diferentes ambientes (karst llano y de laderas) y niveles de actuación (Figura 6), donde coexisten nexos entre los procesos de sedimentación y contaminación con las manifestaciones de la erosión de los suelos referidos por ⁽⁶⁸⁾ en el Líbano, ⁽⁶⁹⁾ en el Suroeste de China y por ⁽⁷⁰⁾ en los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba.

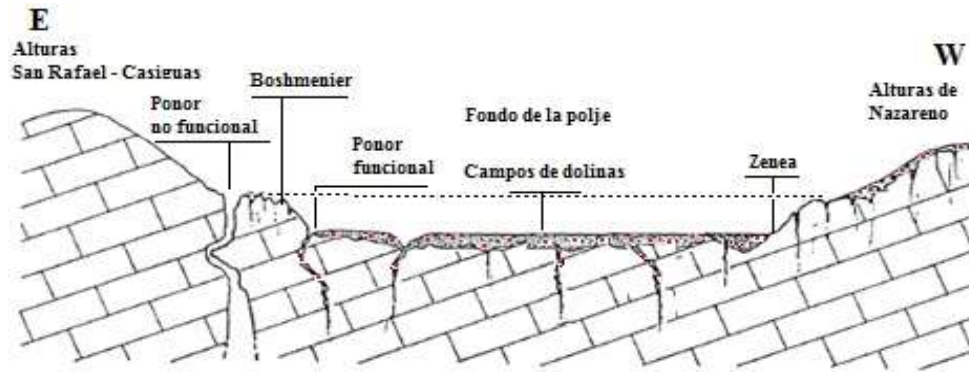


Figura 6. Dinámica de los procesos erosión – sedimentación – contaminación de los suelos por metales pesados en diferentes ambientes. Provincia Mayabeque ⁽⁷⁰⁾

Esto ha quedado confirmado en el análisis comparativo de los valores naturales de metales pesados en los principales suelos de las Alturas de Nazareno con respecto a los valores de referencia utilizados internacionalmente (Tabla 9).

Tabla 9. Valores naturales de MP en los suelos en Alturas de Nazareno con relación a los valores de referencia propuestos por la literatura internacional

	Cu	Zn	Mn	Ni	Cd	Pb	Fe	Cr
	mg kg ⁻¹							
F.P.R. ¹	84,0	171,5	2599	161,1	3,1	50,3	28639	90,3
F.R.T. ²	129,5	469,1	2725	308,1	11,3	65,4	48120	290,0
P.C. ³	44,4	65,9	992	57,7	2,4	44,4	21567	33,2
RQ ⁴	35	60	*	13	0,5	17	*	*
Prev. ⁵	60	300	*	30	1,3	72	*	*
Inv. ⁵	200	450	*	70	3	180	*	*
Fadigas ⁶	2 - 119	6 - 79	*	5 - 35	0,3 - 1,5	3 - 40	*	19 - 65
Holanda ⁷	36	140	*	35	0,8	85	*	100
Mundo ⁸	0,3 - 495	1,5 - 264	80 - 1315	0,7 - 269	0,005 - 2,4	0,5 - 135	*	6 - 80

¹Fersialítico Pardo Rojizo; ²Fersialítico Rojo Típico; ³Pardos con Carbonatos; ⁴Referencia de calidad ⁽⁷²⁾; ⁵Prevención e investigación ⁽⁷³⁾; ⁶Valores orientadores de calidad para suelos brasileiros ⁽⁷⁴⁾; ⁷Valores de referencia de suelos holandeses ⁽⁷⁵⁾; ⁸Rango de concentración de MP en suelos del mundo ⁽⁷⁶⁾

* Valores no reportados

En esta localidad los suelos Ferralíticos Rojos muestran en áreas poco perturbadas, valores naturales por encima de esos límites ⁽⁷¹⁾, lo cual se evidencia en los sedimentos retenidos en las depresiones kársticas, que suelen presentar altas concentraciones de metales pesados desde la propia superficie (nivel 0 - 30 cm), coincidiendo con los resultados obtenidos por ⁽⁷⁷⁻⁷⁹⁾ en la provincia Mayabeque.

En algunos casos estos suelos pueden ser clasificados como "contaminados". Sin embargo, estas concentraciones fueron encontradas naturalmente (áreas poco perturbadas), debido a la presencia de estos elementos en los minerales constituyentes de las rocas coincidiendo con estudios realizados por ^(71,80) en regiones similares.

Realidad: Desconocimiento sobre las estrategias de conservación de suelos

Las formas de absorción kársticas imponen características peculiares al relieve, de manera que las aguas pluviales cuando escurren lo hacen de forma difusa pero dirigida básicamente hacia el fondo de las diferentes depresiones, al funcionar éstas como niveles de bases locales con microcuencas bien definidas, rellenándose eventualmente con sedimentos cuando el ponor está obstruido o no es funcional, por lo que generalmente se cultivan al desconocer o subvalorar este complejo proceso. Asimismo, no resulta admisible la quema de la vegetación característica o la apertura violenta de las mismas ya que aceleran el proceso kárstico – erosivo ⁽⁸¹⁾.

En consecuencia, debe considerarse que las depresiones kársticas poseen una función hidrológica ya que representan las vías de drenaje natural que poseen estas regiones para la evacuación de los excedentes líquidos y productos de la erosión provenientes de superficies automórficas vecinas, por lo que se deberá promover en su área de influencia el laboreo mínimo, la siembra en contorno y las barreras vivas entre otras alternativas de la agricultura de conservación.

Investigaciones desarrolladas ⁽⁸²⁾ en localidades de San José de Las Lajas, sugieren en situaciones muy necesarias rellenar las depresiones con rocas de diferentes diámetros y de una composición químico – mineralógica similar al material pétreo subyacente (Figura 7), de manera que facilite el drenaje de las aguas, pero reteniendo eventualmente las suspensiones sólidas.

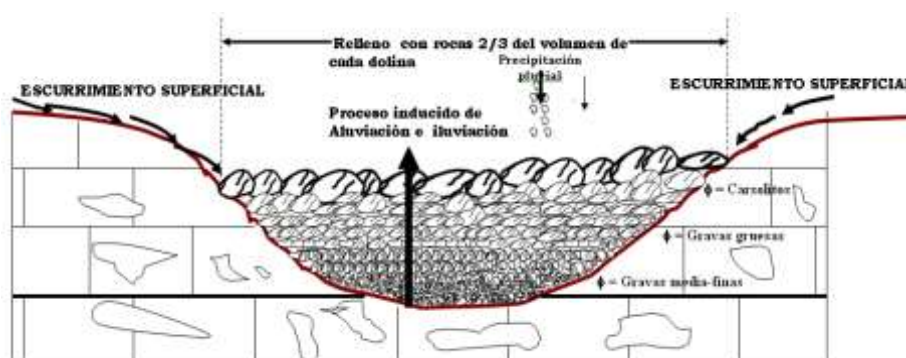


Figura 7. Propuesta de estrategia agroecológica para el control de la erosión de los suelos en las cavidades kársticas

Se estima que la rehabilitación se logrará en un plazo aproximado entre tres a cinco años, en conformidad con las dimensiones de las formas de absorción. Asimismo, se debe

aceptar el karst como un proceso natural y geológico con el cual inevitablemente se debe coexistir.

Realidad: Desconocimiento del costo de la erosión de suelos

Ferralíticos Rojos

Evaluaciones de las consecuencias económicas de la degradación de los suelos en Cuba (Tabla 10), precisan que el PIB se afecta en \$191 millones de dólares en los costos económicos directos y adicionales provocados por los efectos de la erosión de los suelos de las clases I y II a las que corresponden los suelos Ferralíticos Rojos.

Tabla 10. Costo económico de la degradación de los suelos en Cuba a causa de la erosión e impactos medioambientales ⁽⁸³⁾

Grado de erosión	Pérdida de suelo t. ha ⁻¹ año ⁻¹	Área afectada M ha ⁻¹	Total de pérdidas Mt ha ⁻¹ año ⁻¹	Costo total pérdida de suelo (USD.ha ⁻¹ año ⁻¹)	
				Valor x ha ⁻¹	Total
				USD	M USD
I	4,2 – 4,8	1 745,4	7854,3	14,12	11 0902,72
Débil	media 4,5				
II	9,0 – 10,8 media	645,5	6390,45	12,50	79 880,63
Media	9,9				
Totales				Media	95,38

A tenor con estos resultados ⁽⁸⁴⁾ estimaron en la polje de San José de Las Lajas (Tabla 11), los costos de la pérdida de productividad de los suelos Ferralíticos Rojos por hectárea para escenarios futuros a través de las formas de absorción kársticas (dolinas), mediante la ecuación propuesta ⁽⁸⁵⁾

$$C_i = P_m * \Delta y_{ij}$$

Donde:

C_i : es el costo de la erosión por hectárea en el sitio i, P_m : es el precio de mercado por tonelada de producto agrícola y Δy_{ij} es la pérdida de producto en t.ha⁻¹ asociada a la pérdida de centímetros de suelo en el sitio i.

Tabla 11. Pronóstico de pérdidas de suelos en los próximos 50 años mediante el modelo MMF en las localidades “Rosafé Signet” y “Boshmenier – Zenea” ⁽¹⁹⁾

Escenario 1986 - 2009	Escenario año 2034		Escenario año 2059	
	C ₁ (Erosión moderada)		C ₁ (Erosión severa)	
	Horizonte A (0 – 221,50 mm)		Horizonte A (0 – 39,48mm)	
	Y	Y	Y	Y
C ₁ (Sin erosión aparente)				
Horizonte A(0 – 490 mm)				
	(mm año ⁻¹)	(cm año ⁻¹)	(mm año ⁻¹)	(cm año ⁻¹)
	268,52	26,80	450,52	45,00

El eje vertical (Figura 8) muestra el costo por hectárea y el horizontal, los centímetros de suelo erosionados. Para el escenario I (1986 – 2009) se obtuvo $\bar{x}_{(15 \text{ años})} = 0.11 \text{ cm año}^{-1}$ de suelo erosionado, superior al método de lotes de escurrimiento, pero aún en el rango conservador estimado por SAGARPA de 0.15 t.ha^{-1} . Sin embargo, para los escenarios II ($\bar{x}_{(25 \text{ años})} = 1.08$) y III ($\bar{x}_{(50 \text{ años})} = 1.80$), las magnitudes de pérdidas interceptan el escenario crítico con el máximo de $0,300 \text{ t.ha}^{-1}$. La combinación de ambas estimaciones determina que los costos por pérdida de productividad estén en un rango de USD \$16,2 a USD \$32,4 ha⁻¹, mientras que el costo de reemplazo de los nutrientes perdidos asciende a USD \$22,1 ha⁻¹ con marcada tendencia a incrementarse.

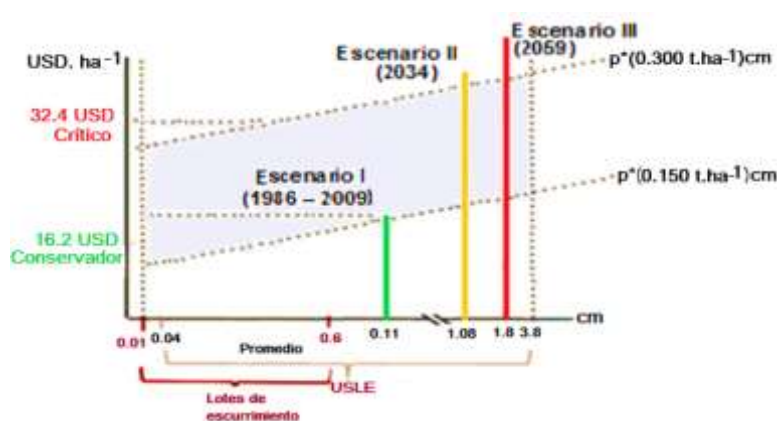


Figura 8. Costos por hectárea bajo dos escenarios de pérdida de productividad por centímetro de suelo erosionado

Considerando el escenario conservador (donde un cm de suelo erosionado ocasiona la reducción de 150 kg en el rendimiento), el costo total de ambas localidades asciende a USD \$ 44 921,54 lo cual corresponde a un valor de \$16,2 USD ha⁻¹. Con el escenario crítico (donde poco más de un cm de suelo erosionado ocasiona la pérdida de 300 kg) el costo asciende a USD \$ 89 843, 089 o bien \$32.4 USD ha⁻¹.

Si bien “.. debemos estar conscientes de que rara vez (si es que nunca) se conocerá a ciencia cierta el valor económico total de algo..” ⁽⁸⁶⁾, una apreciación más completa del

valor de los suelos requiere de estudios que enfatizen sobre los diversos servicios ambientales otorgados por éstos, más allá de la producción.

CONCLUSIONES

- La Ciencia del Suelo en Cuba debe aplicar definitivamente los resultados obtenidos por más de 50 años en la determinación de las modalidades específicas que asume la erosión de los suelos Ferralíticos Rojos, para que su degradación deje de ser un mito y convertirse en un asunto Seguridad Nacional.
- Los resultados de las investigaciones de los suelos Ferralíticos Rojos en las regiones kársticas ponen en evidencia, que la falta de métodos armonizados de vigilancia y transferencia de información, constituyen una de las causas que provoca la persistencia de la incertidumbre sobre el estado de la degradación y estrategias de protección que se deben aplicar a estos suelos en Cuba.

BIBLIOGRAFÍA

1. Valois R, Camerlynck C, Dhemaied A, Guerin R, Hovhannissian G, Plagnes V, et al. Assessment of doline geometry using geophysics on the Quercy plateau karst (South France). *Earth surface processes and landforms*. 2011;36(9):1183–92.
2. Stroup WW. Rethinking the analysis of non-normal data in plant and soil science. *Agronomy Journal*. 2015;107(2):811–27.
3. Lewis SL, Maslin MA. Defining the anthropocene. *Nature*. 2015;519(7542):171–80.
4. Bennet H, AR. Los Suelos de Cuba La Habana: Comisión Nacional Cubana de la UNESCO; 1928. Impreso en español por la UNESCO, 1962.
5. Febles-González JM, Vega-Carreño MB, Tolón-Becerra A, Lastra-Bravo X. Assessment of soil erosion in karst regions of Havana, Cuba. *Land Degradation & Development*. 2012;23(5):465–74.
6. Gutiérrez EOP. Impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 2016;
7. Peralta V, Gil C, Fleitas E, Moleiro L, Dapena C, Olivera A. Improving a Radioisotope Monitoring Network for the Hydrodynamic Characterization of a Karstic Basin. In: *Isotopes in Hydrology, Marine Ecosystems and Climate Change Studies*. Vol. I. Proceedings of an International Symposium. Vienna, Austria; 2013.
8. Haryono E, Adji TN. *Geomorfologi dan hidrologi karst*. 2017;
9. Medina H, van Lier Q de J, García J, Ruiz ME. Regional-scale variability of soil properties in Western Cuba. *Soil and Tillage Research*. 2017;166:84–99.

10. Bakalowicz M. Karst and karst groundwater resources in the Mediterranean. *Environmental Earth Sciences*. 2015;74(1):5–14.
11. Economic UN, Council S. Report of the inter-agency and expert group on sustainable development goal indicators. *Stat. Comm.* 2016;13.
12. Zeng C, Wang S, Bai X, Li Y, Tian Y, Li Y, et al. Soil erosion evolution and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology using RUSLE with GIS. *Solid Earth*. 2017;8(4):721.
13. Iturralde-Vinent MA. Interrelationship of the terranes in western and central Cuba—Comment. *Tectonophysics*. 1994;234(4):345–8.
14. Oficina Nacional de Estadística e Información de la República de Cuba (ONEI). Panorama uso de la Tierra Cuba 2017 Edición Marzo 2018 [Internet]. La Habana, Cuba; 2017 [cited 29/04/2020]. Available from: <http://www.onei.gob.cu/node/14200>
15. Hernández Jiménez A, Cabrera Rodríguez A, Borges Benítez Y, Vargas Blandino D, Bernal Fundora A, Morales Díaz M, et al. Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*. 2013;34(3):45–51.
16. Nuñez A, Panos V, Stelcl O. Mapa carsológico de Cuba. 1968.
17. Instituto de Geografía Tropical. Mapa de Formas Cársicas. In: Atlas Nacional de Cuba XL Aniversario. 2019.
18. Vega-Carreño MB, Febles-González JM. La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico. *Minería y Geología*. 2005;21(2):18.
19. Febles-González JM, Vega-Carreño MB, Amaral-Sobrinho NMB, Tolón-Becerra A, Lastra-Bravo XB. Soil loss from erosion in the next 50 years in karst regions of Mayabeque province, Cuba. *Land degradation & development*. 2014;25(6):573–80.
20. Merchán D, Luquin E, Hernández-García I, Campo-Bescós MA, Giménez R, Casali J, et al. Dissolved solids and suspended sediment dynamics from five small agricultural watersheds in Navarre, Spain: A 10-year study. *Catena*. 2019;173:114–30.
21. Febles González JM, Febles Díaz JM, Sobrinho NMBA, Tolón-Becerra A, Lastra-Bravo X, Botta GF. Resilience of Red Ferralitic soils in the karst regions of Mayabeque Province, Cuba. *Land degradation & development*. 2019;30(1):109–16.
22. Iturralde-Vinent M. Estudio cuantitativo de la actividad del carso en Cuba. 1972;10(23):41–7.

23. Camacho E, Bosch D, Pérez JM. Caracterización de una secuencia de suelos ferralíticos del Sur de La Habana, Cuba. *Coloquio Inter. Suelo y Agua. ORSTOM: Paris. 1985;135–50.*
24. Ortega Sastriques F. Las hipótesis paleoclimáticas y la edad de los suelos de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba, La Habana (Cuba).; 1984 p. 46–59.*
25. Núñez Jiménez A, Panos V, Srelel C. Investigaciones carsológicas en Cuba. In: *Acad. de Cuba. La Habana. 1965. p. 15–21.*
26. Camacho E. Etude des sols des plaines karstiques de la région occidentale de Cuba, Etude d'une zone ouverte sur la mer située entre San Nicolas de Bari et Guanajay et particulièrement des sols Ferrallitiques Rouges compacts [Ph. D. Thesis,]. *Université de Dijon, ORSTOM: Paris; 1980.*
27. Bosch D. Les sols des plaines karstiques de la région occidentale de Cuba: Etude d'une plaine quasi fermée située dans la zone de Catalina de Güines et particulièrement dans les sols ferrallitiques jaunes. [Thèse présentée pour obtenir le grade de Docteur de troisième cycle]; 1981.
28. Delgado RD. Estado energético del agua y su interrelación con las propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos ferralíticos rojos de Cuba. [inédito], [tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas]. 1987;
29. Boulet R, Chauvel A, Humbel FX, Lucas Y. Structural analysis and soil mapping. I. The bidimensional organization of the soil cover: the studies of toposequences and their main contribution to the knowledge of soils. *Cahiers-Office de la recherche scientifique et technique outre-mer. Serie pedologie. 1982;*
30. Febles González JM, Martin Alonso NJ, Hernández S, ORSTOM. L'érosion et l'utilisation des sols dans la plaine karstique de Cuba: étude de plusieurs cas. *ORSTOM (Ed.), Sol et Eau. 1986;717–128.*
31. Bonacci O. Surface waters and groundwater in karst. In: *Karst Aquifers—Characterization and Engineering. Springer; 2015. p. 149–69.*
32. Instituto de Geografía Tropical. Mapa de Erosion Potencial. [Internet]. 2019 [cited 29/04/2020]. Available from: <http://citmatel.cu/noticias/atlas-nacional-de-cuba-lx-aniversario-un-sueno-en-las-manos>
33. Tokonogov V, Guerasimova DI, Iagrgenic M. Pedogenesis and soil evolution International Conference of Global Soil Change. *Instituto de Geología, UNAM. 2005;*
34. Orellana R, Febles JM. Calidad y conservación del suelo. In: *Avances de la agroecología en Cuba (Funes F, Vázquez LL, eds.). La Habana, Cuba: EE Indio Hatuey. 2016. p. 77–89.*

35. Ortega F, Academia de Ciencias de Cuba I de S. La materia orgánica de los suelos y el humus de los suelos de Cuba. La Habana, Cuba: Academia de Ciencias de Cuba; 1982. 129 p.
36. Zhang S, Wang R, Yang X, Sun B, Li Q. Soil aggregation and aggregating agents as affected by long term contrasting management of an Anthrosol. Scientific reports. 2016;6:39107.
37. Febles JM, Tolón A, Vega MB. Edaphic indicators for assesment of soil erosion in karst regions, province of Havana, Cuba. Land degradation & development. 2009;20(5):522–34.
38. Garcia-Coronado JA, Medina-Gonzalez H. Las curvas de retención de humedad y su estimación mediante funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de Artemisa y Mayabeque [Ph. D. Thesis]. [La Habana]: Universidad Agraria de La Habana; 2011.
39. Febles González JM, Vega M. Degradación del suelo por procesos de erosión hídrica (Degradção do solo por processos de erosão hídrica). In: Impactos ambientais provenientes da produção agrícola: experiências argentinas e brasileiras. 2016. p. 119–65.
40. Jiménez AH, Díaz MM, Benítez YB. Degradación de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la "llanura roja de La Habana", por el cultivo continuado. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2014.
41. Salgado E, Dueñas M, García A, Guerra M, Gutiérrez B, Olivera J, et al. Diagnóstico ambiental e interpretación paleoambiental de los suelos de las provincias habaneras, Cuba. Ciencias de la tierra y el espacio. 2004;5.
42. Boletín de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. II Taller Nacional sobre la situación actual y futuro de los suelos y la Ciencia del Suelo en Cuba. La Habana ,Cuba; 2011.
43. Febles JM. Integración de métodos para evaluar la erosión de los suelos en las regiones cársicas de Cuba [inédito]. [Ph.D. Thesis]. [Cuba]: Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez"; 2007.
44. DGSF. Instructivo técnico para la confección del mapa de grados de erosión 1:25 000 de las provincias. La Habana: Dirección General de Suelos y Fertilizantes, Ministerio de la Agricultura.; 1981.
45. MINAG. Metodología provisional para evaluar la degradación de los suelos. 1982.
46. Febles JM, Vega M, Febles G, Pérez A, Jeréz L. Criterios de selección para determinar valores umbrales de sostenibilidad de los suelos en áreas pilotos de La

- Habana, Cuba. I Seminario Internacional de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos. Sostenibilidad e Indicadores. 2007;325.
47. Soil Survey Staff. Soil Survey Manual. USDA Handbook 18: USDA Washington, DC.; 1951.
 48. Shepashenko G, Riverol M, Calzada N. La erosión hídrica y los métodos de combatirla en los países en vías de desarrollo con clima tropical y subtropical. Instituto de Suelos, Academia de Ciencias de Cuba ISACC (10): La Habana. 1984;40.
 49. Riverol M. La erosión potencial de los suelos de Cuba y los métodos para su mapificación. [inéedito], [tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas], Facultad de Agronomía, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. 1985;
 50. Riverol M, Shepashenko G, Calzada N. Metodología para el diagnóstico, evaluación y cartografía de los suelos con erosión potencial en escala media detallada. Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura. 1989;
 51. Febles Díaz JM, Vega Carreño MB. Estimación del aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 2016;37(3):18–30.
 52. Vega Marina B, Febles JM. Aplicación del nuevo método de Evaluación de la Erosión de los Suelos (EVERC) y el modelo MMF en suelos de la subcuenca ganadera de Mampostón en la provincia La Habana, Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 2008;42(3):305-311
 53. Kellogg CE. Soil survey division staff: soil survey manual. United States Department of Agriculture: Washington. 1993.
 54. Febles JM, Vega MB, Febles G. Sistema integrador de métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar la erosión de los suelos en las regiones cársicas de uso ganadero de Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2008;42(3):313–7.
 55. Hernández J, Pérez J, Bosch I, Castro SN. Clasificación de los suelos de Cuba. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015. 93 p.
 56. Febles González JM, Vega Carreño M. Mapas de erosión de suelos. Editorial UH; 2019.
 57. A HS, DL HJE, Gonzalez Sousa R, Seco Hernandez R, Remond Noa R, Febles González JM, et al. La Geomática y los Atlas agrícolas en el ejemplo de las provincias de Artemisa y Mayabeque. In: Memorias del V Congreso de Suelos 2018 por el Manejo Sostenible de Suelos; 2018
 58. Calero, B., Rodríguez, D, Ginebra, M, Agilar, Y, Rodríguez A, Castellanos, N, et al. Nueva plataforma de trabajo para proteger recursos naturales en Cuba: Los

- polígonos demostrativos. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 2016;21(2):14.
59. Gutiérrez EOP. Cambio climático y medio ambiente en Cuba. Formulación de políticas y medidas de adaptación para el bienestar humano y funcionamiento de la sociedad. 2018
 60. González JF, Cabrera JS, Vega MB, Sobrinho NA, García AC, Díaz JF. Effects of climate change on soils of cattle regions from the southern karst plain Habana-Matanzas, Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2017;51(1).
 61. Naipal V, Ciais P, Wang Y, Lauerwald R, Guenet B, Van Oost K. Global soil organic carbon removal by water erosion under climate change and land use change during AD 1850–2005. *Biogeosciences*. 2018;4459–80.
 62. Febles-González JM, Vega-Carreño MB, Do Amaral-Sobrinho NMB, Tolón-Becerra A, Lastra-Bravo XB. Good soils in extinction: Degradation of Red Ferralitic soils in western Cuba. *Soil science*. 2014;179(6):304–13.
 63. Panos V, Stelcl O. Physiographic and geologic control in development of Cuban mogotes. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 1968;12(2):117–73.
 64. Naipal V, Reick C, Van Oost K, Hoffmann T, Pongratz J. Modeling long-term, large-scale sediment storage using a simple sediment budget approach. *Earth Surface Dynamics*. 2016;(2):407–23.
 65. Kelly C, Ferrara A, Wilson GA, Ripullone F, Nolè A, Harmer N, et al. Community resilience and land degradation in forest and shrubland socio-ecological systems: Evidence from Gorgoglione, Basilicata, Italy. *Land use policy*. 2015;46:11–20.
 66. Deng YS, Xia D, Cai CF, Ding SW. Effects of land uses on soil physic-chemical properties and erodibility in collapsing-gully alluvial fan of Anxi County, China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2016;15(8):1863–73.
 67. Fox GA, Sheshukov A, Cruse R, Kolar RL, Guertault L, Gesch KR, et al. Reservoir sedimentation and upstream sediment sources: perspectives and future research needs on streambank and gully erosion. *Environmental management*. 2016;57(5):945–55.
 68. Lamouroux M. Etat et comportement du fer dans les sols formés sur roches carbonatées au Liban. *Science du Sol*. 1972;1:85.
 69. Yan Y, Dai Q, Jin L, Wang X. Geometric morphology and soil properties of shallow karst fissures in an area of karst rocky desertification in SW China. *Catena*. 2019;174:48–58.
 70. 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.
71. Sobrinho NA, Guedes JN, Zoffoli HJO. Natural content of heavy metals on cattle regions soils of Mayabeque and Artemisa province in Cuba. Cuban Journal of Agricultural Science. 2013;47(2):209.
 72. Ambiental CDTDS. 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. 2006.
 73. 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.
 74. 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.
 75. Crommentuijn T, Sijm D, De Bruijn J, Van Leeuwen K, Van de Plassche E. Maximum permissible and negligible concentrations for some organic substances and pesticides. Journal of Environmental Management. 2000;58(4):297–312.
 76. Meharg AA, Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Experimental Agriculture. 2011;47(4):739.
 77. Muñiz O, Molina J, Quicute S, Estevez J. Heavy metal pollution in a Rhodic Ferralsol of Cuba. In: Plant Nutrition. Springer; 2001. p. 994–5.
 78. Rodríguez Alfaro M. Valores permisibles preliminares de metales pesados en suelos y abonos orgánicos [Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas]. [La Habana, Cuba]: Instituto de Suelos; 2019.
 79. Pérez YL. Metais pesados em solos representativos das principais regiões agrícolas de Cuba: valores de referência, geoquímica e fatores de variabilidade [tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas]. [La Habana, Cuba]: Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana; 2015.
 80. Lima ESA, de Santana Matos T, Pinheiro HSK, Guimarães LDD, Pérez DV, do Amaral Sobrinho NMB. Soil heavy metal content on the hillslope region of Rio de Janeiro, Brazil: reference values. Environmental monitoring and assessment. 2018;190(6):364.

81. Febles JM, Vega MB, Pérez GF, Tolón A, Jerez L. Indicadores agroambientales de sostenibilidad para caracterizar la erosión de los suelos en regiones cársicas de uso ganadero. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 2008;42(4):423–9.
82. Febles González JM. Agro - environmental management and protection of Cuban Soils. “La Protección del Medio Ambiente”. *Manejo y Protección Ambiental*. 2016;1(1):29–42.
83. Marrero R. Costo económico de la erosión acelerada de los suelos cubanos y daños medio ambientales. 2015.
84. Santiago M, Victoria A, Febles González JM. Una aproximación a los costos ambientales en los suelos ferralíticos rojos para el logro de la sostenibilidad. *Cofin Habana*. 2018;12(1):192–208.
85. SAGARPA. Informe de diagnóstico de la degradación de suelos e impacto de los programas de conservación de suelos en México. 2007.
86. Rivera ES, Cortés II. Las experiencias del Instituto Nacional de Ecología en la valoración económica de los ecosistemas para la toma de decisiones. *Gaceta Ecológica*. 2007;(84):93–105.