



## CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba, 2020

### Resiliencia y protección agroambiental de los suelos Ferralíticos Rojos en regiones Kársticas del occidente de Cuba

José Manuel Febles González <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9360-1117>

José Miguel Febles Díaz <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2776-8779>

Marina Beatriz Vega Carreño <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6745-5382>

Angelina Herrera Sorzano <sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5124-0173>

Ana Victoria Maura Santiago <sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1880-8951>

Alfredo Tolón Becerra <sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7420-3340>

Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho <sup>6</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5053-7338>

Everaldo Zonta <sup>6</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8106-0504>

Alexei Martínez Robaina <sup>7</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9820-0497>

<sup>1</sup> Centro Investigaciones Marinas. Universidad de La Habana. La Habana, Cuba

<sup>2</sup> Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba

<sup>3</sup> Facultad de Geografía. Universidad de La Habana. La Habana, Cuba

<sup>4</sup> Facultad de Contabilidad y Finanzas Universidad de La Habana. La Habana, Cuba

<sup>5</sup> Universidad Federal Rural de Río de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil

<sup>6</sup> Universidad de Almería. Almería, España

<sup>7</sup> Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba

\*Autor para la correspondencia: [febles@rect.uh.cu](mailto:febles@rect.uh.cu); [jmfebles@yahoo.com](mailto:jmfebles@yahoo.com)

#### RESUMEN

#### Palabras clave

degradación; karst; soberanía alimentaria

**Introducción.** A partir de investigaciones iniciadas durante el año 1986, que constituyen la línea base de la información, se demuestra por primera vez, la capacidad de resiliencia de los suelos Ferralíticos Rojos en la Llanura Kárstica Meridional Habana-Matanzas, como resultado de un proceso multifactorial, condicionado no solo por las propiedades intrínsecas de la cobertura edáfica y condiciones de uso, sino dependiente de las condiciones geológico-geomorfológicas. **Métodos.** Se tomó como referencia el perfil C<sub>1</sub> (sin erosión aparente), localizado en un área en biostasia como línea base, para evaluar en los diferentes escenarios la magnitud de pérdida de los suelos Ferralíticos Rojos a través de las depresiones Kársticas mediante el modelo de predicción de Kay *et al.* (1994). **Resultados.** Se concluyó que bajo prácticas agrícolas normales los suelos Ferralíticos Rojos afectados por erosión se recuperarían en un período de 50 años, mientras que de acuerdo con el grado de impurezas de las calizas les tomaría entre 100 años y 600 años. Se recomendó a las autoridades la necesidad de aplicar definitivamente los resultados obtenidos por más de 3 décadas en la determinación de las modalidades específicas que asume la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos, para que su degradación deje de ser mito y se convierta en un asunto de prioridad para el plan de soberanía alimentaria y educación nutricional de Cuba post-COVID-19, ya que representan el máximo potencial para satisfacer lo que el país actualmente demanda para las producciones agropecuarias.



# Resilience and agro-environmental protection of Red Ferrallitic soils in Karst regions of western Cuba

## ABSTRACT

### Keywords

Degradation; karst; food sovereignty

**Introduction.** Based on research initiated during 1986, which constitutes the baseline information, the resilience capacity of the Ferrallitic Red soils in the Southern Karstic Plain Havana-Matanzas is demonstrated for the first time, as a result of a multifactorial process, conditioned not only by the intrinsic properties of the soil cover and conditions of use, but also dependent on the geological-geomorphological conditions. **Methods.** The C<sub>1</sub> profile (without apparent erosion), located in an area in biostasis, was used as a baseline to evaluate the magnitude of loss of Red Ferrallitic soils through Karst depressions in different scenarios using the prediction model of Kay *et al.* (1994). **Results.** It was concluded that under normal agricultural practices the Red Ferrallitic soils affected by erosion would recover in a period of 50 years, while according to the degree of limestone impurities it would take between 100 to 600 years. It was recommended to the authorities that it was necessary to definitively apply the results obtained for more than three decades in the determination of the specific modalities assumed by the degradation of the Red Ferrallitic soils, so that their degradation ceases to be a myth and becomes a priority issue for the food sovereignty and nutritional education plan of Cuba post-COVID-19, since they represent the maximum potential to satisfy what the country currently demands for agricultural productions.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios a largo plazo sobre el manejo de ecosistemas Kársticos, generan resultados prácticos y contribuciones significativas a su comprensión y justifican las investigaciones realizadas por más de 36 años por Febles JM *et al.* <sup>(1)</sup> en los suelos Ferralíticos Rojos de la Llanura Kárstica Meridional Habana-Matanzas. Estos autores han evaluado integralmente los efectos de la morfogénesis Kárstica en los procesos de erosión, sedimentación y contaminación por metales pesados de los suelos Ferralíticos Rojos, tanto en ambientes poco perturbados como inducidos, demostrando que los procesos de karstificación se incrementan través de las formas de absorción Kársticas superficiales. Sin embargo, hasta el presente, <sup>(2,3)</sup> se continúa clasificando a los suelos Ferralíticos Rojos como "no erosionados" generando incertidumbre en la perspectiva de promover una política para su protección agroambiental, <sup>(4)</sup> especialmente cuando estos suelos representan el 23,56 % del fondo de tierras agrícolas a nivel nacional y ocupan entre el 80 % y el 85 % de la superficie karstificada de las provincias de Mayabeque y Artemisa con una superficie de 5731 km<sup>2</sup>, coincidentes con las zonas de mayor producción agrícola, densidad de población y con las cuencas más importantes del territorio, <sup>(5)</sup> con importancia estratégica para la seguridad alimentaria de la nación y un valor

edafológico-patrimonial incuestionable. Teniendo en cuenta estos antecedentes, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la capacidad de resiliencia de los suelos Ferralíticos Rojos bajo un enfoque agroambiental ante los procesos de erosión hídrica y Kárstico-erosivos en localidades de referencia de Kársticas de la provincia Mayabeque.

### Resiliencia de los suelos Ferralíticos Rojos

La degradación de los suelos constituye un problema fundamental de la agricultura cubana y persiste una diversidad de enfoques para evaluar la erosión de los suelos a partir de una muy somera adaptación de la clasificación del Soil Survey Staff, <sup>(6)</sup> que no expresa con objetividad las modalidades específicas que asume la erosión de la cobertura edáfica en las regiones Kársticas en el occidente de Cuba, ni la capacidad de resiliencia propuesta por varios autores. <sup>(7-10)</sup>

Donde la resiliencia del suelo ( $R_s$ ) puede ser establecida de la tasa de cambio de la calidad del suelo ( $S_c$ ) en el tiempo ( $t$ ):

Es de significar que ninguno de estos valores ha sido obtenido en regiones Kársticas para estimar el tiempo en alcanzar el estado de equilibrio o recuperar su potencial de servicio ecosistémicos.

$$R_s = ds_c / dt \cong \Delta s_c / \Delta t \rightarrow \rightarrow \cdot(1)¶$$

## MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la porción central la Llanura Kárstica Meridional Habana-Matanzas (figura 1), en el *polje* de San José de Las Lajas con una extensión aproximada de 469,80 Km<sup>2</sup>, donde la dinámica Kárstico-erosiva muestra diferentes grados de desarrollo en conformidad con las condiciones de uso y manejo a que han estado sometidos los suelos a partir de investigaciones iniciadas durante el año 1986 que constituye la línea base de la información.

Los suelos más difundidos son predominantemente del tipo Ferralítico Rojo lixiviado, que se puede correlacionar con el nitisol ródico éutrico<sup>(11,12)</sup> y a los órdenes ultisol y oxisol de la *Soil Taxonomy*,<sup>(13)</sup> donde las diferencias están dadas por el tipo de utilización de la tierra y la distribución de los horizontes. La composición textural generalmente posee contenidos de arcilla mayores del 60 % con horizonte B argílico, bien drenado y con pH entre 6,0 y 7,0. Las muestras de suelos fueron seleccionadas según describen Febles González JM *et al.*<sup>(14)</sup> mediante un esquema radial que comprendió un total de 122 puntos con barrena y 12 perfiles principales y de control, que fueron descritos, muestreados y caracterizados hasta profundidades nunca inferiores a los 100 cm, para examinar mediante análisis descriptivo-comparativos la manifestación e intensidad de la erosión.

Se tomó como referencia el perfil C<sub>1</sub> (sin erosión aparente) localizado en un área en biostasia y con una profundidad

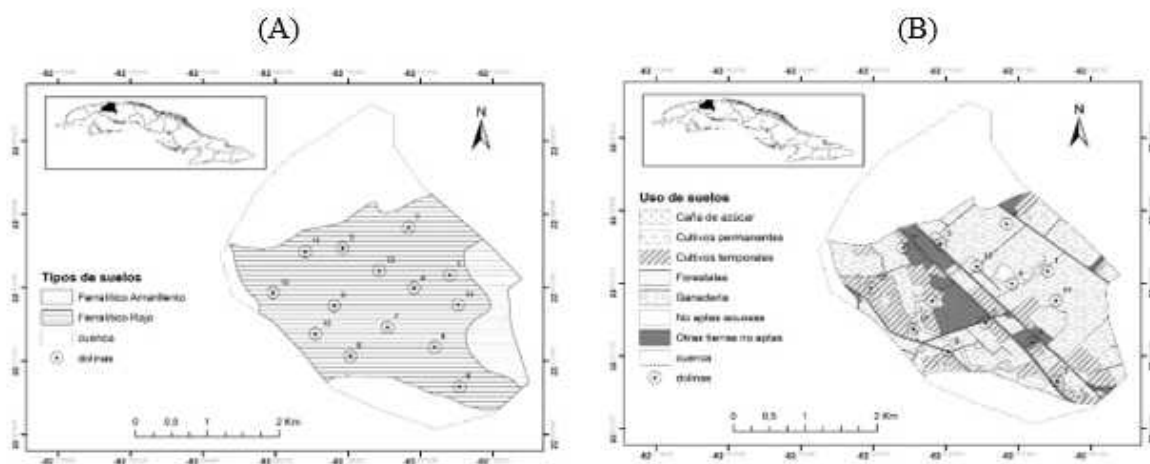
inicial del horizonte A<sub>0-490</sub> mm como línea base (tabla 1), para evaluar en diferentes escenarios la magnitud de pérdida de los suelos Ferralíticos Rojos a través de las depresiones Kársticas mediante la aplicación del modelo MMF,<sup>(15,16)</sup> considerando la variabilidad climática y sus propiedades físicas, físico-químicas y químicas.<sup>(17)</sup>

El análisis morfométrico de las formas de absorción Kársticas (dolinas) se realizó a escala 1:10 000 y constituyó el índice diagnóstico fundamental para evaluar las manifestaciones e intensidad de la karstificación corroborado en los recorridos exploratorios de acuerdo con la propuesta de Cherlinka.<sup>(18)</sup> Las unidades de peso (t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) correspondientes al período 1986-2019 fueron convertidas en unidades de longitud (mm año<sup>-1</sup>) de acuerdo a la propuesta de Geler T<sup>(19)</sup> y la interpretación de los límites de tolerancia de pérdidas según el modelo USLE,<sup>(20)</sup> adaptado por Mc. Cormack *et al.* (1982). Los trabajos geofísicos se realizaron a través de 15 perfiles trazados en dirección NW-SE y distancias entre ellos de 100 m; utilizándose los métodos de perfilajes eléctricos, simétricos y verticales, con el dispositivo simétrico Schlumberger.<sup>(21)</sup>

Para el cálculo de la resiliencia fue seleccionada la ecuación de Kay *et al.* (1994).<sup>(7)</sup> según la ecuación siguiente:

Donde  $S^0$  es el valor de S al inicio del nuevo uso del suelo cuando  $t$  es igual a tiempo inicial,  $S_{max}$  es el cambio máximo proyectado en S,  $k$  es la constante de velocidad y  $t_1$  es el tiempo entre la introducción del nuevo uso del suelo en el tiempo de medición ( $t = 0$ ).

$$S(t) = S^0 + \Delta S_{max} [1 - \exp^{-k(t-t_1)}] \rightarrow \rightarrow \rightarrow (2) \quad \text{¶}$$



**Fig. 1.** Localización del área de estudio. A) Mapa de suelos. B) Mapa de uso de suelos de las localidades Rosafé Signet y Aljibe en el *polje* San José de Las Lajas.

**Tabla 1.** Comportamiento de las propiedades físicas de los suelos. Unidad “Rosafé Signet”. Provincia Mayabeque

Prof. (cm)	% de las fracciones en mm				Mg.m <sup>-3</sup>		%
	A. Gruesa 2-0,2	A. Fina 0,2-0,02	Limo 0,02-0,002	Arcilla < 0,002	Densidad del suelo	Densidad fase sólida	
Perfil C <sub>1</sub> (sin erosión aparente) (Febles y Martín, 1986)							
Ferralítico Rojo hidratado							
0 - 10	18,52	17,20	13,20	51,08	1,35	2,68	54,00
10-20	20,03	15,52	12,40	52,05	1,37	2,70	54,00
Perfil C <sub>1</sub> (Gonou y Febles, 1997)							
Ferralítico Rojo hidratado							
0-10	20,72	17,44	12,97	48,87	1,34	2,72	55,61
10-20	20,08	15,96	11,99	51,97	1,36	2,77	56,25
Perfil C <sub>1</sub> (Febles y Vega, 2009)							
Ferralítico Rojo hidratado							
0-10	21,63	18,12	12,40	47,85	1,35	2,70	50,00
10-20	22,33	15,96	11,76	49,95	1,36	2,71	50,18

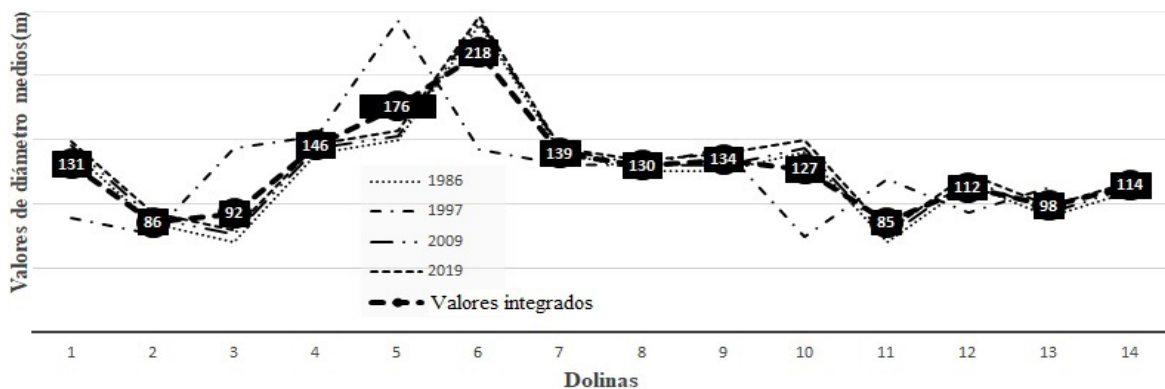
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Las pérdidas de suelos Ferralíticos Rojos en el Karst y su capacidad de resiliencia

Cuando se pretende describir la situación de los suelos Ferralíticos Rojos en los territorios investigados en un contexto espacio-temporal, todo análisis transita por las fases de la morfogénesis Kárstica en que se encuentran, respecto a sus atributos físicos, químicos y biológicos que puedan favorecer, limitar o inhibir su resiliencia. El incremento de las dimensiones morfométricas de las dolinas durante los años 1986-2019 (figura 2), confirma que se desarrolla un proceso o modalidad erosiva inherente a los suelos Ferralíticos Rojos,

cuyas manifestaciones más evidentes resultan la amplitud de su diámetro medio a expensas de la reducción de los espacios interfluviales, con una irreversibilidad de la karstificación en su evolución unidireccional. <sup>(22)</sup>

El avance de los parámetros morfométricos de las depresiones Kársticas ha conllevado sostenidos incrementos en los volúmenes de pérdidas los cuales sobrepasan los valores umbrales de tolerancia de 12,5 t.ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> propuestos por Soil Survey Staff <sup>(23)</sup> para los suelos derivados de rocas calizas y que convertidos en unidades de longitud <sup>(19)</sup> muestran reducciones en los horizontes A+B entre 0,98 mm<sup>-1</sup>, 20 mm año<sup>-1</sup>, lo cual ha generado afectaciones considerables del fondo de tierra, que corrobora de forma cuantitativa lo que expusieran. <sup>(5)</sup>



**Fig. 2.** Evolución del diámetro medio de las dolinas en el centro I.A. Rosafé Signet. *polje* de San José de Las Lajas. Provincia de Mayabeque. Período 1986-2019.

**Tabla 2.** Volumen de pérdidas de suelos con los valores de equivalencia de remoción superficial en las localidades de referencia del *polje* de San José de Las Lajas

Dolina	Línea base 1986		Períodos de obtención de datos					
	1997		2009		2019			
	Volumen (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Superficial (mm año <sup>-1</sup> )	Volumen (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Superficial (mm año <sup>-1</sup> )	Volumen (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Superficial (mm año <sup>-1</sup> )	Volumen (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Superficial (mm año <sup>-1</sup> )
Media	12,33	0,98 A	13,292	1,05 A	13,70	1,20 A	15,55	1,18 A

Leyenda: A: Alto; MA: Muy alto y T: Tolerable

La subvaloración de los procesos expuestos pudiera transformar en las próximas 2 o 3 décadas estos agroecosistemas, dejando improductivas áreas que en el pasado fueron aptas para una amplia gama de usos agrícolas como lo alertaran Febles González JM *et al.* (24)

### Resiliencia de los suelos Ferralíticos Rojos en el *polje* de San José de Las Lajas

La aplicación de la ecuación (2) toma como referencia los resultados de investigaciones realizadas por Febles González, J. M *et al.* (25) para simular el tiempo que tardarían los suelos Ferralíticos Rojos de esta subregión para alcanzar el estado de equilibrio.

Dónde:  $S^0$  es igual a 1,078 mm año<sup>-1</sup> tasa media de pérdidas de suelos Ferralíticos Rojos registrada in situ bajo cultivos de pastos en el período 1986-2009;  $\Delta S_{max}$  es igual a perfil  $C_1$  (sin erosión aparente) localizado en un área en biostasia, con una profundidad inicial del horizonte  $A_{0-490}$  mm.

De acuerdo a las tasas de formación de suelos seleccionadas (25-29), se renovarían bajo prácticas agrícolas normales el 100 % del horizonte  $A_{0-490}$  mm a los 50 años, mientras que con el porcentaje de impurezas que posean las calizas se restablecería esa misma profundidad a los 100 años y 600 años respectivamente (figura 3).

Es de significar que esta renovación del horizonte A del *solum* en estos *lapsus* de tiempos, se asume considerando exclusivamente las propiedades intrínsecas de los suelos Ferralíticos Rojos y no al ambiente geológico asociado a su génesis y evolución, es decir; el Kárstico, que modula el proceso

de resiliencia antes descrito bajo una condición hipotética, es decir; en ausencia del inevitable proceso de ampliación de las depresiones Kársticas o "dolinización" (con marcada tendencia hacia el endorreísmo), posibles cambios en el uso de la cobertura edáfica, impactos de los eventos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático, etc., que hacen que el proceso de recuperación del potencial ecosistémico del suelo resulte mucho más lento e incluso irreversible, si llegara a su fase paroxismal o de retrogresión edafológica, lo que coincide con los resultados obtenidos por varios autores (30-32) en regiones similares.

Asimismo, el grado de impurezas de las calizas puede retardar la rehabilitación del suelo Ferralítico Rojo en cientos de años en conformidad con las prácticas agrícolas establecidas (figura 9). En este contexto y aun cuando el uso histórico de estas localidades ha sido el cultivo permanente de pastos desde el año 1966, se convierten en verdaderos sumideros al propiciar el ingreso de C almacenado en el suelo después de su aprovechamiento, (33) donde la zona edáfica es responsable de la mayor parte de la agresividad química de las aguas enriquecidas en CO<sub>2</sub>, que originan el progresivo avance de la morfogénesis Kárstica, caracterizada por una irreversibilidad del proceso en su evolución unidireccional, resultado prácticamente inédito en la literatura edafológica y constituye una de las causas que influye en la incertidumbre sobre el estado de degradación de los suelos Ferralíticos Rojos, caracterizada por la ausencia de estrategias para su conservación y mejoramiento.

$$S(t) = 1,078 + 490,02 * (1 - e^{-(k * años)}) \rightarrow \rightarrow (3) \quad \text{¶}$$

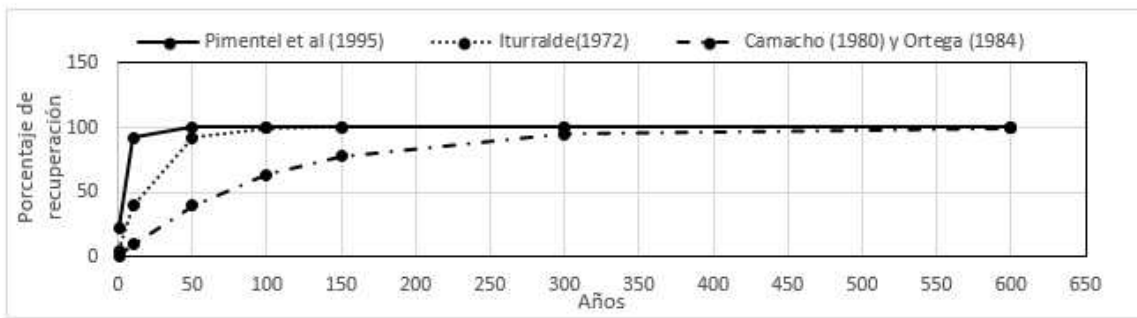


Fig. 3. Resiliencia de los suelos ferralíticos rojos en el *polje* de San José de Las Lajas. Provincia Mayabeque.

### La resiliencia y el costo ambiental de la erosión de suelos Ferralíticos Rojos

A tenor con estos resultados Maura Santiago *et al.* (34) estimaron en el *polje* de San José de Las Lajas 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 por SAGARPA: (35)

Donde:

$C_i$  es el costo de la erosión por hectárea en el sitio  $i$ ,  $P_m$  es

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

el precio de mercado por tonelada de producto agrícola y  $\Delta y_{ij}$  es la pérdida de producto en  $t \cdot ha^{-1}$  asociada a la pérdida de centímetros de suelo en el sitio  $i$ .

El eje vertical (figura 4) muestra el costo por hectárea y el horizontal, los centímetros de suelo erosionados Para el Es-

cenario I (1986-2009) se obtuvo  $R_1(15 \text{ años}) = 0,11 \text{ cm} \cdot \text{año}^{-1}$  de suelo erosionado, superior al método de lotes de escurrimiento, pero aún en el rango conservador estimado por SAGARPA (35) de  $0,15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Sin embargo, para los escenarios II ( $R_2(25 \text{ años}) = 1,08$ ) y III ( $R_3(50 \text{ años}) = 1,80$ ), las magnitudes de pérdidas interceptan el escenario crítico con el máximo de  $0,300 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . 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.

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 1 cm de suelo erosionado ocasiona la pérdida de 300 kg) el costo asciende a USD 89 843,089 o bien 32,4 USD  $ha^{-1}$ .

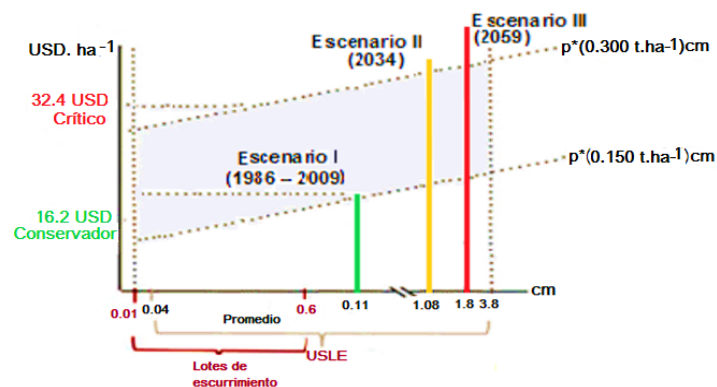


Fig. 4. Costos por hectárea bajo dos escenarios de pérdida de productividad por centímetro de suelo erosionado de los suelos ferralíticos rojos en el *polje* de San José de Las Lajas.

## Estrategias agroambientales de conservación de suelos

Las depresiones Kársticas poseen una función hidrológica ya que representan las vías de drenaje natural que definen estas regiones para la evacuación de los excedentes líquidos y productos de la erosión provenientes de superficies automórficas vecinas (figura 4), por lo que se deberá promover en su área de influencia el laboreo mínimo, la siembra en contornos y las barreras vivas, entre otras alternativas de la agricultura de conservación.

Investigaciones desarrolladas por varios autores <sup>(36,37)</sup> en localidades de San José de Las Lajas, sugieren solamente en situaciones muy necesarias rellenar las depresiones (dolinas), con rocas de diferentes diámetros y de una composición químico-mineralógica similar al material pétreo subyacente, de manera que facilite el drenaje de las aguas, pero reteniendo eventualmente las suspensiones sólidas.

Se estima que la rehabilitación se obtendrá en un plazo aproximado de 3 años a 5 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. Autoridades del centro I. A. Rosafé Signet han aplicado varias de estas estrategias agroambientales.

## Conclusiones

La resiliencia de los suelos Ferralíticos Rojos 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.

El suelo Ferralítico Rojo bajo prácticas agrícolas normales le tomaría unos 50 años en retornar a su estadio inicial y de acuerdo con el grado de impureza de las calizas el período estaría comprendido entre 100 años a 600 años.

El costo de la erosión varía en un rango de USD 16,2 a USD 32,4 ha<sup>-1</sup> mientras que el costo de reemplazo de los nutrientes perdidos asciende a USD 22,1 ha<sup>-1</sup> con marcada tendencia a incrementarse, que revela la gravedad para lograr la sostenibilidad financiera de la producción agropecuaria en estas regiones del occidente de Cuba

En cualquier caso, estudios similares resultan muy escasos, no sólo por el tiempo que es necesario tener para lograr resultados fiables, sino porque en el caso de los ecosistemas Kársticos, están sometidos a perturbaciones constantes que dificultan la labor investigativa de la resiliencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Febles JM, Somoza J, Vega M, Amaral Sobrinho N, Calderín A, Febles Díaz J. Effects of climate change on soils of cattle regions

- from the southern karst plain Habana - Matanzas, Cuba. Cuban Journal of Agricultura Science 2017;51:139-51
2. Instituto de Suelos (2009). Evaluación del Medio Ambiente GEO Cuba 2007 Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Capítulo III. Impacto sobre el Medio Ambiente. Agencia Medio Ambiente (AMA). ISBN 978-1-4160-4570-095-78-959-300-003-1.
3. Instituto de Geografía Tropical. Mapa de Erosión Potencial. E, Atlas Nacional de Cuba XL Aniversario. La Habana: CITMA; 2019.
4. Febles González, J. M. Agro-environmental management and protection of Cuban Soils. La Quinta ola de progreso de la Humanidad 2016;1(1):2477- 9229.
5. Febles González JM, Febles Díaz JM, Sobrinho NMBA, Tolón A, Lastra X, Botta G.F. 2018. Resilience of Red Ferralitic soils in the karst regions of Mayabeque Province, Cuba. Land Degrad Dev 2018;1-8. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3192>
6. Soil Survey Staff. Soil Survey Manual. USDA Handbook 18: USDA Washington, DC.;1951.
7. Kay B, Rasiah V, & Perfgaltam páginas ect E. Structural aspects of soil resilience. En: Greenland D. & Szabolcs I, Editores. Soil Resilience and Sustainable Land Use. Oxon: CABI Wallingford; 1994:449-69p.
8. Lal R. Degradation and resilience of soils. Philosophical Transaction Royal Society, B: Biological Sciences, 1997;352(1356);997-1008.
9. Lal R. Mulching effects on runoff soil erosion, and crop response on alfisols in western Nigeria. Journal of Sustainable Agriculture 1998;(11):135-54.
10. Blanco H, & Lal R. Principles of Soil Conservation and Management. Amsterdam: Springer; 2008.
11. IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources. En: Micheli E, Editor. A framework for international classification, correlation and communication. Resources Reports, no. ser. 103, 2nd ed. 2007.128p.
12. Hernández A, Pérez J, Bosch D. Nueva clasificación de los suelos de Cuba Mayabeque, Cuba. Ediciones INCA; 2015.
13. USDA - Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual. Ditzler C, Scheffe K, and Monger H, Editores. USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
14. Febles González JM, Vega MB, Sobrinho, NMA, Tolón A, Lastra X. Good Soils in Extinction: Degradation of Red Ferralitic Soils in Western Cuba. Soil Science, 2014;179(6):304-13.
15. Morgan RP, Morgan DV, Finney H. A predictive model for the assessment for soil erosion risk. Journal of agricultural engineering research 1984;(30):245-53.
16. Morgan RPC. A simple approach to soil loss prediction. a revised Morgan-Morgan-Finney model. 2001; Catena 44:305-22.
17. Vega MB, y Febles JM. Evaluation of the rainfall erosion in cattle regions from the central part of Havana province. Cuban Journal of Agricultural Science 2006;40(2):203-8
18. Cherlinka. Morfometrychni parametry reljefu jak bazys dlja predklyatvynogho modeljuvannja prostorovogho poshyrennja gruntovykh vidmin. In Aghrokhimija i gruntoznavstvo; 2017:5-16p.
19. Geler T. Prediction soil erosion hazards caused by lands use changes. Centre for Geo-information (tesis de maestría). Wageningen: University and International institute for aerospace Survey and Earth Sciences; 2000

20. Service of Soil Conservation - SSC 1977. Midwest Technical Service Center. TSC Advisory Soils L1-13, July 14.
21. Reynolds JM. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Editores Chichester, UK: Wiley-Blackwell, John Wiley and Sons, Ltd. 2nd ed. 2011. 12p.
22. Febles Díaz JM, Febles González JM, Sotelo M, González T. Export of nutrients to the sea in a karstic basin in the west of Cuba. *Rev Springer Nature* 2020;2:1917
23. Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy. 12th ed. Washington, DC.: USDA-Natural Resources Conservation Service; 2014.
24. Febles González JM, Vega M. (2016). Degradación del suelo por procesos de erosión hídrica (Degradação do solo por processos de erosão hídrica). In do Amaral Sobrinho NMB, Chagas CI, Zonta E. Impactos ambientais provenientes da produção agrícola: experiências argentinas e brasileiras; 2016:119-65p.
25. Febles González, J. M.; Tolón, A. Vega, N. Moura, A. Tolón y X. Lastra 2012. Soil loss from erosion in the next 50 years in karst regions of Mayabeque province, Cuba. *Land Degradation & Development*. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2184>
26. Iturralde Vinent M. Quantitative study of Karst development in Cuba. *Voluntad Hidráulica* 1972;(23):41-8.
27. Camacho E. Etude des sols des plaines karstiques de la région occidentale de Cuba (tesis doctoral). Paris: ORSTOM 1984.
28. Ortega F. Las hipótesis paleoclimáticas y la edad de los suelos de Cuba. *Ciencias de la Agricultura* 1984;(21):46-59
29. Pimentel D, Harvey C. Resosudarmo, P. Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits. *Science* 1995;24(267):1117-23. Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy (2014): 12th ed. Washington, DC.: USDA-Natural Resources Conservation Service
30. Wang SJ, Liu QM, & Zhang DF. Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, land use, impact and rehabilitation. *Land Degrad. Develop* 2004;(15):115-21
31. Jaimez E. Los suelos del Parque Nacional Viñales, Pinar del Río, Cuba. Condiciones genéticas y ambientales. *Rev. Cuadernos Geográficos* (38):195-205
32. López M, Navas A. Relating soil erosion and sediment yield to geomorphic features and erosion processes at the catchment scale in the Spanish Pre-Pyrenees. *Environmental Earth Sciences* 2010;(61):143-58.
33. Ramaswamy V, Boucher O, Haigh J. (2001): Radiative forcing of climate change. En : Houghton JT, Meira Filho LG, Bruce J, Lee H, Callender BA, Haites E, Harris N, Maskell K, Editores. *Climate change 2001 the scientific basis*. Cambridge, R.U : Cambridge University Press ; 2001.349-416p.
34. Maura Santiago AV, Febles González JM, (2018). Una aproximación a los costos ambientales en los suelos Ferralíticos Rojos para el logro de la sostenibilidad. *Revista Cubana de Contabilidad y Finanzas*. (20736061).
35. SAGARPA (2007). Informe de diagnóstico de la degradación de suelos e impacto de los programas de conservación de suelos en México.
36. Febles González JM, y Vega Carreño MB. Mapas de erosión de suelos (2019): En Herrera A, Editor. Mayabeque: Atlas agrícola de una provincia cubana. Dirección de Publicaciones Académicas, Universidad de La Habana: 2019: 56 p.
37. Febles González J.M, Febles Díaz J M, Moura AS, Tolón A, & Lastra X. Resilience of red Ferralitic soils in the karst regions of Mayabeque, Cuba. *Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion*; 2019 mayo 5-17; Roma, Italia; 2019

---

Recibido: 11/06/2021

Aprobado: 30/09/2021

---

### Conflicto de interés

No existen conflictos de intereses

### Contribución de los autores

Conceptualización: José Manuel Febles González

Curación de datos: José Miguel Febles Díaz

Análisis formal: José Miguel Febles Díaz; Marina B. Vega Carreño

Adquisición de fondos: Nelson Moura Brasil; Everaldo Zonta, Alfredo Tolón Becerra

Investigación: Angelina Herrera Sorzano; Ana Victoria Maura Santiago; Alexei Martínez Robaina

Metodología: José Manuel Febles González; José Miguel Febles Díaz  
Administración del proyecto: José Miguel Febles Díaz; José Manuel Febles González

Recursos: Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho; Everaldo Zonta; Alfredo Tolón Becerra

Software: José Miguel Febles Díaz; Angelina Herrera Sorzano

Supervisión: Marina B. Vega Carreño

Validación: Ana Victoria Maura Santiago; Alexei Martínez Robaina

Visualización: Marina B. Vega Carreño; Angelina Herrera Sorzano;

Redacción-borrador original: José Manuel Febles González; José Miguel Febles Díaz

Redacción-revisión y edición: José Manuel Febles González; Marina B. Vega Carreño

### Financiación

Los resultados forman parte de los proyectos: "Mejoramiento de los Indicadores Agroambientales en Sistemas Productivos Agrarios Iberoamericanos" (AECID); "Establecimiento de valores de referencia y recuperación de suelos contaminados con metales pesados en el Estado de Rio de Janeiro (Brasil) y la provincia de Mayabeque (Cuba)" (CAPES/ MÉS) y del proyecto "Fortalecimiento de políticas agroambientales en países de América Latina y el Caribe a través de diálogo e intercambio de experiencias nacionales" (GCP/RLA/195/BRA).

### Cómo citar este artículo

Febles González JM, Febles Díaz JM, Vega Carreño MB, Herrera Sorzano A, *et al*. Resiliencia y protección agroambiental de los suelos Ferralíticos Rojos en regiones Kársticas del occidente de Cuba. *An Acad Cienc Cuba [internet]* 2022 [citado en día, mes y año];12(2):e1081. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1081>

