



Irreversibilidad de la degradación de los suelos ferralíticos rojos en áreas de influencia de las depresiones kársticas

Irreversibility of the degradation of red ferrallitic soils in areas of karstic depression influence

 José Manuel Febles González^{1*},  José Miguel Febles Díaz¹,  Ana Victoria Maura Santiago²,
 Alfredo Tolón Becerra³,  Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho⁴,  Everaldo Zonta⁴

¹Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana, Calle 16, No. 114, entre 1ra y 3ra, CP 11300, Miramar, La Habana, Cuba.

²Facultad de Contabilidad y Finanzas. Universidad de La Habana, San Lázaro y L., CP 10400. Municipio Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba.

³Universidad de Almería. Carretera Sacramento, s/n 04120, CP 04120, La Cañada de San Urbano Almería, España.

⁴Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro. Km 07, Seropédica, CP 23890-000, Rio de Janeiro, Brasil.

RESUMEN: La caracterización de las condiciones del entorno kárstico a nivel detallado contribuye al estudio de los suelos en zonas de bajo contraste de relieve y una ventana de conocimiento donde la información geógrafa - cartográfica se ha sobre generalizado y subestimado. Con base a estudios realizados por más de tres décadas en la Llanura Kárstica Meridional Habana - Matanzas, específicamente en el polje de San José de Las Lajas, se planteó como objetivo analizar mediante tres indicadores integrados la tendencia irreversible de la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos en áreas de influencia de las formas de absorción kársticas (dolinas y uvalas), donde la estructura geológica y la karstificación muestran diferentes fases de desarrollo. La caracterización realizada a partir de una línea base en el período t₀:_{1986 - 1996} y posterior monitoreo durante el intervalo t₁:_{1996 - 2019}, permitió obtener criterios sobre la modificación secuencial del paisaje kárstico; cambios en la naturaleza y propiedades de los suelos y en la evolución unidireccional e irreversible de la morfogénesis kárstica, con marcada tendencia hacia el endorreísmo en este peculiar ecosistema.

Palabras clave: Karst, erosión, suelo, degradación.

ABSTRACT: The characterization of conditions of the karst environment at a detailed level contributes to the study of soils in areas of low relief contrast and a window of knowledge where geographic-cartographic information has been overgeneralized and underestimated. Based on studies carried out for more than three decades in the Southern Karstic Plain Havana - Matanzas, specifically in the polje of San José de Las Lajas, the objective was to analyze by means of three integrated indicators the irreversible trend of the degradation of Red Ferrallitic soils in areas of influence of karstic absorption forms (dolines and uvalas), where the geological structure and karstification show different phases of development. The characterization carried out from a baseline in the period t₀:_{1986 - 1996} and subsequent monitoring during the interval t₁:_{1996 - 2019}, allowed obtaining criteria on the sequential modification of the karst landscape; changes in the nature and properties of soils and in the unidirectional and irreversible evolution of karst morphogenesis, with a marked tendency towards endorheism in this peculiar ecosystem.

Key words: Karst, erosion, soil, degradation.

*Autor para correspondencia: jmfables@yahoo.com

Recibido: 02/08/2022

Aceptado: 14/11/2022

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: Investigación y toma de datos en campo- José M. Febles González, Ana Victoria Maura Santiago.

Análisis estadístico- José M. Febles González, José Miguel Febles Díaz, Ana Victoria Maura Santiago. **Análisis de los resultados obtenidos-** Alfredo Tolón Becerra, Nelson M. B. Do Amaral Sobrinho, Everaldo Zonta. **Interpretación, estructura, diseño y corrección del manuscrito-** José M. Febles González, José Miguel Febles Díaz.

del manuscrito- José M. Febles González, José Miguel Febles Díaz.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

Todos los procesos termodinámicos que se dan en la naturaleza son procesos irreversibles, es decir; se efectúan espontáneamente en una dirección, pero no en otra, como los procesos pedogenéticos, cuyos resultados originan suelos con distintas características y propiedades. La variabilidad espacial de la cobertura edáfica en Cuba es ejemplo de ello, donde han sido identificados más de 39 Tipos genéticos (1). Cada uno de ellos desempeña una serie diferente de funciones y presentan un grado diferente de vulnerabilidad a las diversas presiones. En cualquier caso, el suelo es un recurso limitado y, aunque se pueden recuperar algunas de sus funciones, no es un recurso renovable en el lapso de tiempo necesario para su regeneración (2).

Desde hace más de tres décadas, en diversos artículos, se ha sosteniendo que la pérdida y degradación de los suelos en regiones kársticas resultan procesos en general irreversibles en su evolución unidireccional, específicamente, en las áreas de influencia de las formas de absorción kársticas (3), ya que la resiliencia de los suelos Ferralíticos Rojos de acuerdo a las tasas de formación y el porcentaje de impurezas que posean las calizas se renovarían entre 100 y 600 años (4-6).

En Cuba, en ocasiones, el suelo experimenta pérdidas irreversibles y se degrada como resultado de las crecientes

demandas, a menudo en conflicto de prácticamente todos los sectores económicos (7). Reflexionando sobre estos antecedentes, el presente trabajo tiene entre sus objetivos caracterizar la tendencia irreversible de la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos ubicados en áreas de influencia de las depresiones kársticas en el polje de San José de Las Lajas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de las áreas investigadas

La investigación se desarrolló en la porción central de la Llanura Kárstica Meridional Habana-Matanzas, específicamente, en el polje de San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, con una extensión aproximada de 469,80 Km² (Figura 1), 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 durante las últimas décadas (8).

Este agroecosistema, ha sido clasificado como de los más húmedos de las llanuras de Cuba, recibe alrededor del 76 - 80 % de las precipitaciones que ocurren en las provincias Mayabeque y Artemisa (9, 10). Los suelos más difundidos son, predominantemente, del Tipo Ferralítico Rojo Lixiviado, que se puede correlacionar con el Nitisol ródico éutrico (11) y al orden Oxisol de la Soil Taxonomy

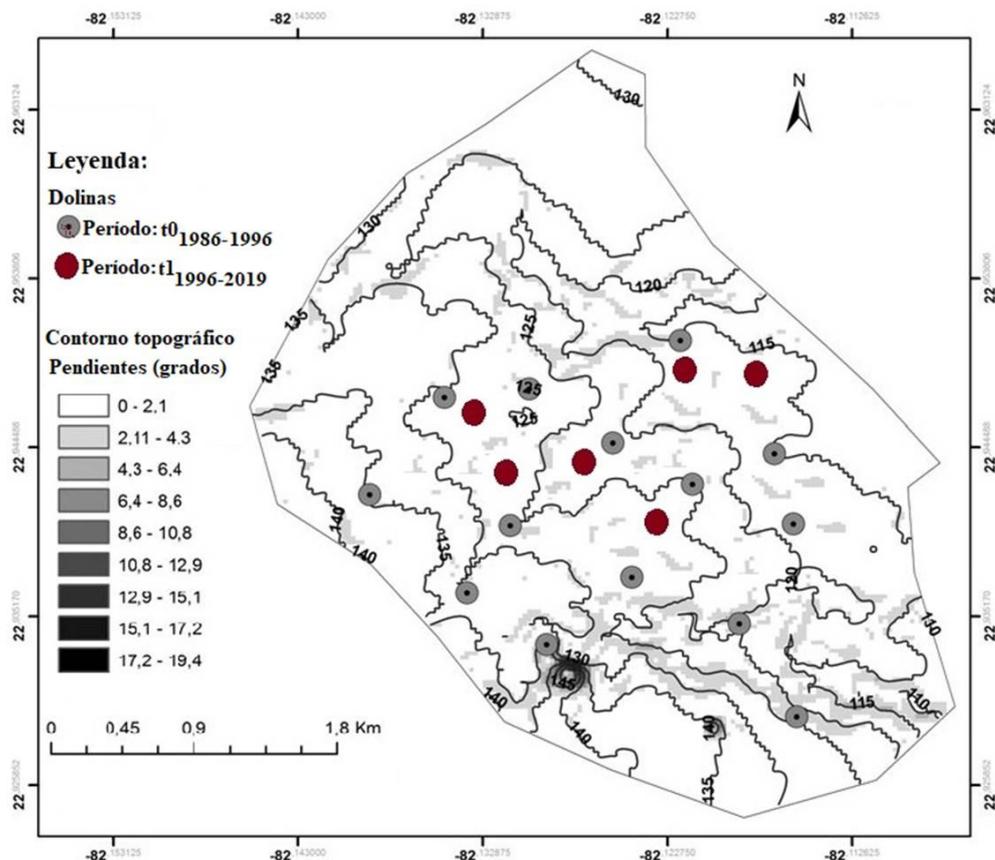


Figura 1. Polje de San José de Las Lajas de contornos irregulares que recibe todo tipo de sedimentos provenientes de superficies auto mórficas vecinas, provincia Mayabeque, Cuba

(12), donde las diferencias están dadas por el tipo de utilización de la tierra y la distribución de los horizontes.

La metodología estuvo sustentada en la aplicación del Sistema Integrador de Métodos Cualitativos y Cuantitativos para las regiones kársticas, propuesta por (13) caracterizándose las depresiones kársticas y sus regímenes de inundación, así como 12 perfiles principales a profundidades de 0-20 cm, así como al nivel de los horizontes de diagnóstico erosivo A+B₀₋₅₀ cm, en correspondencia con las variaciones geólogo - geomorfológicas y uso agrícola.

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. Los puntos de SEV se realizaron a través de los perfiles, con distancias entre puntos de 100 m, de acuerdo con la propuesta de (14).

Para caracterizar la dinámica e irreversibilidad de los procesos kárstico - erosivos fueron seleccionados tres indicadores integrados: (1) modificación secuencial del paisaje, (2) cambios en las propiedades de suelos y (3) evolución de la morfogénesis kárstica, que proporcionaron criterios de medición y cambios en el sistema, a partir de una línea base durante el período t₀:^{1986 - 1996} y posterior monitoreo en el intervalo t₁:^{1996 - 2019}.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Degradación irreversible y pérdida de productividad de los suelos en sectores de influencia de las formas de absorción kársticas

Cuando se pretende describir la situación de los suelos Ferralíticos Rojos en un contexto espacio - temporal de larga data, todo análisis transita por las fases de la morfogénesis kárstica en que se encuentran, respecto a sus atributos físicos, químicos y biológicos que pueden favorecer, limitar o inhibir su resiliencia (15), dada su capacidad de ralentizar los procesos erosivos y absorber sustancias contaminantes, que hacen que los daños no se perciban hasta una fase muy avanzada, por lo que es probable que esta sea la razón principal por la que no se haya fomentado suficientemente la protección de estos suelos en Cuba.

En este contexto y a partir de la línea base t₀:¹⁹⁸⁶⁻¹⁹⁹⁶ y su seguimiento, durante el período t₁:¹⁹⁹⁶⁻²⁰¹⁹, se muestran los cambios en los principales indicadores (Tabla 1), como resultado de un proceso multifactorial condicionado, no solo por las propiedades intrínsecas de la cobertura edáfica en las proximidades de las depresiones kársticas (dolinas y uvalas), sino dependiente de las condiciones geólogo - geomorfológicas y de uso.

Es de significar que las respuestas de los suelos en los ecosistemas kársticos son complejas, ya que son el resultado de la interacción de numerosos factores y de fuertes vínculos con la variabilidad climática, que no pueden valorarse completamente en el corto plazo, dado que requieren de la interpretación de diferentes enfoques

(28), que serán examinados con más detalle a partir de los tres indicadores seleccionados.

Indicador 1. Modificación secuencial del paisaje kárstico

En el polje ocurre un intenso proceso kárstico-erosivo, que ha dado lugar a amplias y profundas dolinas que originan un desmembramiento del relieve y, por consiguiente, la existencia de áreas improductivas, que a modo de microcuencas operan bajo su influjo que reflejan la naturaleza de la estructura geológica y el progreso unidireccional e irreversible de la morfogénesis kárstica en sus diferentes fases (29).

Sin embargo, la cobertura de suelo ferralítica puede modelar por acúmulo estas depresiones (dolinas, uvalas) y enmascarar de cierto modo el mecanismo de acción descrito que, en gran medida, ha provocado la subvaloración de este complejo proceso, el cual continuará con la remoción definitiva de los sedimentos hacia su fondo 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 en profundidad), que se difunden espacialmente por todo el macizo kárstico como lo demuestran los SEV realizados a través de 15 perfiles (Figura 2) trazados en dirección NW - SE y a distancias entre ellos de 100 m (30).

Las dolinas inicialmente formadas modifican el gradiente hidráulico en sus alrededores e incrementan los procesos de carbonatación - disolución, originando eventualmente nuevas dolinas o la unión de éstas (uvalas), con el consecuente aumento de la remoción de las fracciones del suelo hacia las áreas de inundación temporal, enclavadas por debajo de los 50 msnm; probablemente, debido a que en la acción de los factores estructural, climático y la vegetación hidrófila. combinados con el comportamiento del agua subsuperficial, favorecen la disolución de la roca caliza con mayor intensidad que en las otras superficies con mayor hipsometría (14, 30).

A manera de hipótesis, puede suponerse que esta condición de temporalidad en la inundación pudiera estar asociada a los cambios en el nivel estático del acuífero a lo largo del año y como consecuencia de los procesos de infiltración, el desarrollo de la fracturación del paquete carbonatado que es aprovechado por la escorrentía superficial para infiltrarse hacia el interior del macizo con la pérdida irreparable de los suelos a través del poner.

Indicador 2. Cambios en la naturaleza y propiedades de los suelos

El contenido inicial de materia orgánica de estos suelos superaba con amplitud el 10%, en la actualidad, según (31) se encuentra entre el 3 - 4 % y, al parecer, no cesa su decrecimiento (Tabla 2), deteriorándose al unísono las propiedades físicas que los caracterizaban (32).

Respecto a la modificación de las propiedades de la cobertura edáfica, los efectos más notables se expresan, principalmente, a las profundidades de los horizontes de

Tabla 1. Principales manifestaciones de los procesos kárstico - erosivos de los suelos en las depresiones kársticas. Localidad «Rosafé Signet», Poije San José, provincia Mayabeque

Período establecimiento de la línea base t0: ¹⁹⁸⁸⁻¹⁹⁹⁶	Período de monitoreo t1: ¹⁹⁹⁶⁻²⁰¹⁹	Método/modelo aplicado
MODIFICACIÓN SECUENCIAL DEL PAISAJE		
Perfil de referencia: C ₁ (Aparentemente no erosionado) - Horizonte A (0 - 490 mm) (13)		
Profundidad del suelo (mm año ⁻¹): 48	469,45	Geoespacial (16-18)
Pérdidas suelos (t ha ⁻¹ año ⁻¹): 12,89 Alta	15,28 Alta	MMF (19)
Índice de erodabilidad: > 0 - 3 Bajo	> 3 - 6 Moderado	CORINE (20)
Pedregosidad (%): 11	17	
Remoción horizonte A (mm. año ⁻¹): 0,97	1,19	R/USLE(21)
Índice topográfico: < 5 Muy suave	5 - 15 Suave	MDE (22)
Llano ligeramente desmembrado	Llano mod. desmemb.	
CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS		
Materia orgánica (%): 1,63	1,27	Evaluación integral de los suelos (23, 24)
Densidad aparente (Mg.m ⁻³): 1,29	1,34	
pH: 7,2	7,4	
Contenido de Carbono (%): 0,99	0,76	
Reservas de Carbono (t. ha ⁻¹) Horizonte A (0 - 20cm):	18 45	
20 Horizontes A + B (0-50cm): 48		
EVOLUCIÓN DE LA MORFOGÉNESIS KÁRSTICA		
Evolución parámetros morfométricos		
Índice de circularidad (IC): 1,58	IC: 1,38	Morfométrico (25-27)
Índice de aplanamiento (IA): 10,18	IA:8,49	
Relación de diámetro (Rd): 27,08	Rd: 17,26	
Índice de karstificación: 5 - 10 Bajo	> 10 - 15 Moderado	
Densidad dolinas (ha ⁻¹): 15	19	
Superficie dolinizada (%): 35	50 y en aumento	
Dolina con inundación temporal: 5	11	
Uvala con inundación temporal: 0	2	
Fisiografía dolinas: Forma de "V"	Forma de "U"	
Fase incipiente de desarrollo.	Fase avanzada.	
Tipo kárstico - sulfosivas.	Tipo corrosivo de - hundimiento.	

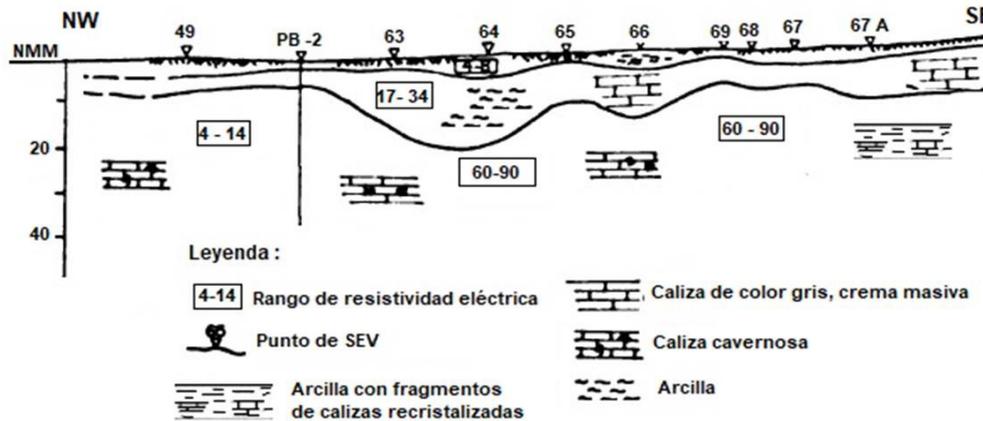


Figura 2. Corte geológico - geofísico. Localidad «Rosafé Signet», en el polje San José, provincia Mayabeque

Tabla 2. Comportamiento de la materia orgánica a través del tiempo en localidades de referencia de la provincia Mayabeque

Suelos	Porcentaje de materia orgánica	Fuentes
LOCALIDAD DE ARTEMISA		
Arcilla Matanzas, fase rojo púrpura	4,74	(33) ⁽¹⁾
Arcilla Matanzas, fase rojo púrpura	7,35	(34) ⁽²⁾
Serie Artemisa	2,83	(35) ⁽³⁾
Ferralítico Rojo típico humificado	2,58	
LOCALIDAD DE QUIVICÁN		
Arcilla Matanzas, fase rojo - chocolate	7,30	(36) ⁽⁴⁾
Ferralítico Rojo Típico	3,23	(37) ⁽⁵⁾
Eutric Rodic Nitisol	1,75	(38) ⁽⁶⁾
POLJE DE SAN JOSÉ, MAYABEQUE		
Ferralítico Rojo lixiviado	4,48	(33) ⁽⁴⁾
Ferralítico Rojo lixiviado	3,56	(37) ⁽⁵⁾
Eutric Rodic Nitisol	3,02	(38) ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Tabla 4, The Soils of Cuba; ⁽²⁾ Tabla 56, Suelos de la provincia de La Habana; ⁽³⁾ Tabla 26, Tesis de Doctorado y ⁽⁴⁾ Cuadro 2, Los Suelos y la Agricultura; ⁽⁵⁾ Tabla 26, Tesis de Doctorado y ⁽⁶⁾ Tabla A2, Land Degradation & Development, 20: 522-534

diagnóstico A+B_{0-50cm} 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 Mg.m⁻³ que disminuye la porosidad total y de aeración (Tabla 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” (39) y degradación irreversible (40).

Complementariamente, el equilibrio ácido - base se destaca en la actualidad, los profundos cambios que han tenido lugar a lo largo del tiempo, evidenciados en el elevado promedio del pH (7,62) (24). Asimismo, (41, 42) han comprobado este fenómeno de basificación (incremento del pH), relacionándolo 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 (Tabla 4).

La alcalinización (actual o potencial) de los suelos obedece también a factores antrópicos, relacionados con el empleo frecuente de aguas bicarbonatadas cálcicas para el riego agrícola, fenómeno acentuado en el fondo de las depresiones kársticas, donde tiene lugar la sedimentación

enriquecida con CO₃ H₂C_a; como consecuencia del continuo proceso de descarbonatación que experimentan las calizas (30). Todo lo anterior evidencia una tendencia al deterioro progresivo de sus propiedades con la consecuente retrogresión de su capacidad productiva.

Indicador 3. Evolución unidireccional e irreversible de la morfogénesis kárstica

El incremento de las dimensiones morfométricas de las dolinas a partir de la línea base t₀:1986-1996 y posterior monitoreo durante el período t₁:1996-2019 (Tabla 5), permite confirmar que se desarrolla un proceso o modalidad erosiva inherente a los suelos Ferralíticos Rojos, cuyas manifestaciones más evidentes resulta la amplitud de sus dimensiones promedio a expensas de la reducción de los espacios interfluviales y el surgimiento de otras formas de absorción en varias etapas de exploración (dolinas 15 y 16 detectadas en el año 1996 y otras cinco durante el año 2019), lo que confirma el avance irreversible de la karstificación en su evolución unidireccional (30).

En efecto, el índice de aplanamiento (IA) muestra valores que morfológicamente se expresan en dolinas con poca disección, como resultado de un proceso de

Tabla 3. Comportamiento de las propiedades físicas de los suelos. Unidad «Rosafé Signet» en el polje San José, provincia Mayabeque

Prof. (cm)	% de las fracciones en mm				Mg m ⁻³		%
	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	
FERRALÍTICO ROJO LIXIVIADO							
Perfil C₁ (sin erosión aparente) Febles y Martín (1986)							
0 - 10	1,96	14,00	10,00	74,00	0,98	2,61	62,50
10 - 20	5,96	13,00	12,00	69,04	1,00	2,72	63,20
20 - 30	0,96	5,00	5,00	89,04	1,09	2,76	60,50
30 - 40	1,96	3,00	2,00	93,04	1,04	2,77	62,50
40 - 50	2,96	3,00	2,00	92,04	1,03	2,78	62,90
Perfil C₁ (levemente erosionado) Gounou (1997)							
0 - 10	3,61	21,54	14,25	60,00	1,38	2,68	58,00
10 - 20	5,63	15,86	14,42	64,09	1,40	2,69	51,02
20 - 30	1,93	10,03	13,20	74,84	1,44	2,73	57,40
30 - 40	2,88	9,86	11,60	75,66	1,36	2,71	55,30
40 - 50	3,98	9,30	11,45	75,27	1,34	2,70	55,10
Perfil C₁ (levemente erosionado) Febles y Vega (2009)							
0 - 10	3,86	20,25	14,57	61,87	1,36	2,70	57,20
10 - 20	5,70	14,32	14,58	65,40	1,38	2,76	54,70
20 - 30	3,72	10,63	13,36	73,29	1,42	-	-
30 - 40	2,50	9,48	11,02	77,00	-	-	-
40 - 50	1,83	3,55	13,70	80,92	-	-	-
Perfil C₁ (levemente erosionado) Febles et al., (2019)							
0 - 10	4,88	18,62	14,57	61,93	1,34	2,70	55,10
10 - 20	5,83	14,69	13,77	65,71	1,38	2,76	54,70
20 - 30	2,72	10,63	12,72	73,93	-	-	-
30 - 40	2,03	7,44	11,16	79,37	-	-	-
40 - 50	2,13	5,02	10,96	81,89	-	-	-

Tabla 4. Comportamiento estadístico de algunas propiedades de los suelos en la Llanura Kárstica Meridional Habana - Matanzas, Cuba

Elementos	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 (H₂O) *	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. Fuente: (41)

desmembramiento vertical en desarrollo. Así, la dolina No. 3 tiene una sostenida tendencia al aplanamiento en el período t0 - t1: (5,65 - 5,40 m²), producto de un desbalance entre la erosión areal y la corrosión a favor del aplanamiento, que favorece el desprendimiento y migración de las fracciones más finas del *solum* que se acumula temporalmente en su fondo y se pierde irremediamente por el ponor.

No obstante, en los últimos años, esta dinámica ha comenzado a experimentar variaciones como resultado del cambio climático incrementado el hidromorfismo por el progresivo avance del régimen de inundación en las depresiones, así como los procesos de carbonatación - disolución (43), cuya expresión más reveladora es la aparición de ponores de diferentes dimensiones en el fondo de prácticamente todas las dolinas y el surgimiento de otras

Tabla 5. Volumen de pérdidas de los suelos Ferralíticos Rojos con los valores de equivalencia de remoción superficial. Unidad «Rosafé Signet», provincia Mayabeque

Dolina No.	Línea base/Monitoreo t0:1986-1996/t1:1996-2019						Línea base t0:1986-1996		Monitoreo t1:1996-2019	
	IC	IA	IA	RD			Volumen (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Superficial (mm año ⁻¹)	Volumen (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Superficial (mm año ⁻¹)
1	1,70	1,72	8,65	8,57	6,50	5,66	16,89 A	1,24 A	17,87 A	1,30 A
2	1,74	1,47	8,51	6,12	9,01	6,96	17,27 A	1,29 A	20,16 A	1,46 A
3	1,52	1,36	5,65	5,40	14,84	9,82	21,74MA	1,59MA	23,63 MA	1,74 MA
4	1,73	1,55	14,08	9,86	9,19	6,87	14,55 A	1,06 A	14,65 A	1,09 A
5	1,37	1,13	11,74	8,89	30,90	22,17	9,18T	0,67T	11,99 A	0,88 A
6	1,54	1,33	13,07	11,80	14,07	10,61	9,56 T	0,70 T	10,72 A	0,79 A
7	1,29	1,04	7,39	7,82	105,53	76,51	13,91 A	1,02 A	12,43 A	0,89 A
8	1,74	1,56	13,41	11,17	9,11	6,82	11,03 A	0,80 A	12,69 A	0,93 A
9	1,33	1,12	13,52	10,18	46,93	28,20	9,58 T	0,70T	10,87 A	0,80 A
10	1,38	1,28	9,67	9,66	29,66	21,23	11,12 A	0,81	12,55 A	0,91 A
11	1,98	1,85	9,66	8,96	6,71	5,17	18,15 MA	1,33A	19,70 A	1,43 A
12	1,34	1,15	7,91	8,20	66,00	32,08	13,06 A	0,95 A	14,75 A	1,12 A
13	1,83	1,66	8,99	8,19	8,00	6,03	17,39 A	1,27 A	18,91 A	1,39 A
14	1,66	1,18	10,26	8,58	22,70	17,92	10,95 A	0,80 T	13,52 A	0,99 A
Media	1,58	1,38	10,18	8,49	27,08	17,26	12, 89 A	0,97 A	-----	
DOLINAS DETECTADAS DURANTE EL MONITOREO DEL AÑO 1996										
15	---	1,26	---	8,53	---	12,88	---	0,49 T	14,53 A	1,39 A
16	---	1,52	---	3,87	---	7,17	---	0,76 T	15,55 A	1,97 MA
Media	---	---	---	---	---	---	---	---	15,28 A	1,19 A
DOLINAS DETECTADAS DURANTE EL MONITOREO DEL AÑO 2019										
17	---	1,70	---	8,17	---	5,45	-----	-----	8,23 T	0,38 T
18	---	1,49	---	7,23	---	8,01	-----	-----	9,05 T	0,41 T
19	---	1,33	---	9,48	---	15,67	-----	-----	10,69 A	0,63 A
20	---	1,29	---	7,66	---	9,28	-----	-----	8,97 T	0,46 T
21	---	1,44	---	6,65	---	7,73	-----	-----	9,45 T	0,74 T
Media		1,45	---	7,84	---	9,23	-----	-----	9,28 T	0,52 T

Leyenda: L.B. (Línea base t0:1986-1996); M (Monitoreo t1:1996-2019).

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

dos formas de absorción (período t1:1996-2019 dolinas No. 15 y 16), las cuales no fueron reportadas en estudios anteriores.

Respecto al índice de circularidad (IC), no se aprecian cambios notables en los valores entre ambos períodos (t0: 1,98 - t1: 2,04 m²), condicionada a las características del sistema de agrietamiento y proceso de disolución del macizo con elementos estructurales que se interceptan (14, 30). Además, de estar sujetos a procesos de disolución para dar lugar a las depresiones, coincidiendo con resultados obtenidos por (7).

Las relaciones de diámetro (Rd) varían en un rango amplio (t0: 105,53 - t1: 5,17 m²), lo que permite aseverar que la génesis de las dolinas se desarrolla bajo un control lito estructural no superficial, relacionado con la influencia de los acuíferos y pozos de recargas artificiales (14), afectados por desechos contaminantes provenientes de varias industrias de la zona, que incrementan la agresividad química de las aguas subterráneas portadoras de hidrocarburos aromáticos policíclicos y bifenilos policlorados (44, 45).

Esta evolución secuencial de los parámetros morfométricos conlleva incrementos en los volúmenes de pérdidas de los suelos, como consecuencia de la concavidad que manifiestan las vertientes del tipo colectoras de lavado (46), con valores de pendientes entre 5 y 8% que facilitan el escurrimiento areal a través de las formas de absorción epigeas, fundamentalmente dolinas y uvalas, en donde los volúmenes de pérdidas superan los valores umbrales de tolerancia de 12,5 t ha⁻¹ año⁻¹, que es el máximo aceptable propuesto por la USLE (47). A tenor con ello, en el período t0(1986-1996) el 51,14 % de las dolinas excedían este valor límite, el cual fue incrementándose durante t1(1996-2019) hasta el 87,5 % de las mismas, dinámica que corrobora las observaciones de (48) en regiones similares.

De acuerdo a investigaciones anteriores (49), se prevé que durante los próximos 37 años (escenario 2059), el ritmo de pérdidas de suelos en las áreas de influencia se incrementará poco menos de un 50 % y el horizonte de referencia A_{0-490 mm} (13) tendría únicamente un espesor de 39,48 mm (Figura 3), por lo que se transitaría a la fase superior de la morfogénesis kárstica (paroxismal), sin

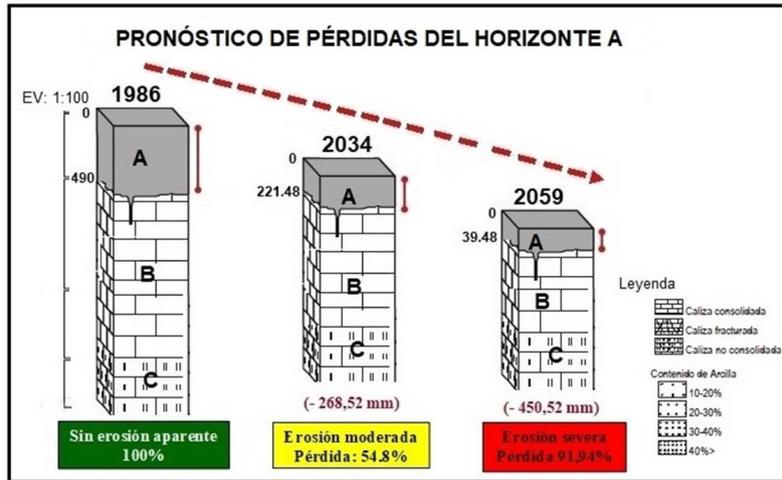


Figura 3. Predicción de pérdidas de suelos por erosión para los próximos 12 y 37 años en áreas de influencia del polje de San José de Las Lajas, provincia Mayabeque

posibilidad de que superficies auto mórficas vecinas puedan aportar sedimentos arcillosos a las depresiones kársticas y “enmascarar” este complejo proceso, dejando áreas improductivas que en el pasado eran aptas para una amplia gama de usos agrícolas, pecuarios y forestales (50).

Sin embargo, las categorías de pérdidas de suelos por erosión, propuesta por el Instituto de Suelos (51), sobrevaloran la profundidad como el índice de diagnóstico fundamental, clasificaría a esta la fase máxima en el año 2059 como erosión severa, lo cual no refleja la trascendencia de esta modalidad específica de la erosión de los suelos Ferralíticos Rojos en las regiones kársticas, que ha sido reportada en estudios anteriores (29, 32).

Es de significar que este pronóstico no ha tenido en cuenta el inevitable proceso de ampliación morfométrica de las formas de absorción kárstica o “dolinización” (con marcada tendencia hacia el endorreísmo), las prácticas de manejo y cambios en el uso de la cobertura edáfica, los eventos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático, etc., por lo que las magnitudes de pérdidas de suelos podrían ser mucho más drásticas e irreversibles, con una reducción sustancial del fondo de tierra útil del agroecosistema, lo que coincide con los resultados obtenidos por (52, 53) en regiones similares.

En cualquier caso, los ecosistemas kársticos tienen una evolución muy dilatada en el tiempo y sólo algunos de los procesos, descritos en sus distintas etapas evolutivas, quedan conservados en el paisaje, los cuales dificultan la labor investigativa de la resiliencia de la cobertura edáfica, especialmente, en los suelos que son la base de la producción agropecuaria del país.

CONCLUSIONES

La tendencia irreversible de la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos en las áreas de influencia de las depresiones kársticas se manifiesta en los tres indicadores de la manera siguiente:

- En la modificación secuencial del paisaje, con el incremento y extensión de las áreas de inundación temporal de las dolinas formadas en t_0 :¹⁹⁸⁶⁻¹⁹⁹⁶, originando el desmembramiento del relieve, aceleración en los procesos de carbonatación - disolución y aumento en la remoción del suelo hacia las depresiones de absorción ubicadas por debajo de los 50 m.
- Cambios en la naturaleza y propiedades de los suelos; que se expresan principalmente a las profundidades de los horizontes de diagnóstico A+B_{0-50cm} con el descenso progresivo de los contenidos de materia orgánica, aumento del pH y valores de densidad aparente superiores a 1,34 Mg m⁻³, con marcada tendencia a incrementarse.
- Evolución unidireccional e irreversible de la morfogénesis kárstica; en ambos periodos con la aparición de ponores de diferentes dimensiones en el fondo de prácticamente todas las depresiones y surgimiento de otras nuevas, con pérdidas que superaron los 12,5 t ha⁻¹año⁻¹ en el 51,14 % de las dolinas en t_0 ⁽¹⁹⁸⁶⁻¹⁹⁹⁶⁾ e incrementándose durante t_1 ⁽¹⁹⁹⁶⁻²⁰¹⁹⁾ hasta el 87,5 % de las mismas, lo que indica el avance unidireccional e irreversible de la morfogénesis kárstica con marcada tendencia hacia el endorreísmo.
- El ignorar o subestimar estos procesos ha propiciado uno de los mitos más ampliamente difundidos de la edafología cubana respecto a la inmunidad de los suelos Ferralíticos Rojos a la erosión en las regiones kársticas. Para ello, será necesario una mayor colaboración entre las instituciones a fin de mejorar el acceso a la información, ampliar la comparabilidad de los datos y evitar duplicación de tareas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Febles González JM. Crean en Cuba Alianza Nacional por el Suelo [en línea]. Departamento de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de Agricultura, La Habana; 2019 [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible

- en: <https://www.tribuna.cu/ciencia/2019-12-06/crean-en-cuba-alianza-nacional-por-el-suelo>.
2. EEA-Eionet Strategy 2021-2030: delivering data and knowledge to achieve Europe's climate and environment ambitions — European Environment Agency. 2021 [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/articles/eea-eionet-strategy-2021-2030>.
 3. Febles González JM, Febles Díaz JM, Sobrinho NMB, Tolón-Becerra A, Lastra-Bravo X, Botta GF. Resilience of Red Ferralitic soils in the karst regions of Mayabeque Province, Cuba. *Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion. Land Degradation & Development*. 2019;30(1):109-116. ISSN 1099-145X. DOI 10.1002/ldr.3192 [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.3192>.
 4. González J, Martínez Robaina A, Sobrinho N, Febles Díaz J, Zonta E. The geological environments in the accumulation of heavy metals in soils of Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*. 1 de enero de 2020;41(2):e05.
 5. Iturralde-Vinent MA. Geoquímica y karst de Cuba. 2022. Disponible en: <http://www.cubasubterranea.com/geoquimica-y-karst-de-cuba>.
 6. 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. ISSN 0038-075X. DOI 10.1097/SS.0000000000000070 [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://journals.lww.com/soilsci/abstract/2014/06000/good_soils_in_extinction__degradation_of_red.4.aspx.
 7. Molerio-Leon L. Situación y perspectivas del estudio del Karst en Cuba [en línea]. La Habana; 20 de septiembre de 2021. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/354708119_SITUACION_Y_PERSPECTIVAS_DEL_ESTUDIO_DEL_KARST_EN_CUBA.
 8. 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. DOI 10.1002/ldr.1089. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/230276660_Assessment_of_soil_erosion_in_karst_regions_of_Havana_Cuba.
 9. Pluviómetros de la región occidental de Cuba. INRH; 2018.
 10. Hernández Capote JF, González Ramírez CM, González Jardines P. Protocolo de alerta de fenómenos meteorológicos peligrosos que afectan la agricultura en las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque. *Revista Cubana de Meteorología*. 2021;27(1). [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/548>.
 11. Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Speck NC. La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*. 2019 Mar 31;40(1):e15. ISSN 1819-4087. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1504>.
 12. Schad P. Technosols in the World Reference Base for Soil Resources – history and definitions. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2018 Mar 4;64(2):138-144. ISSN 0038-0768. DOI 10.1080/00380768.2018.1432973. [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1432973>.
 13. 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):313-317. ISSN 0034-7485, 2079-3472. [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015504016>.
 14. Ortega RM, Mesa Y, García M. Geophysical contribution in locating artificial recharge wells: Jaruco subbasin. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 2018 Aug 1;39:86-99. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331014589_Geophysical_contribution_in_locating_artificial_recharge_wells_Jaruco_subbasin.
 15. Febles González JM, Febles Díaz J, Sobrinho NMB, 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):109-116. ISSN 1099-145X. DOI 10.1002/ldr.3192. [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.3192>.
 16. Interpolación mediante distancia inversa ponderada IDW. [en línea], edit. ArcGIS Resource Center, 2019. Disponible en: <https://rpubs.com/JuanDelgadoG/798296>.
 17. Muñoz Labrador YJM, Milián Cabrera IC de la C, Nazco Torres A. Cartografía de formaciones y categorías de bosques en la Península de Guanahacabibes, Cuba. *Avances*. 2022;24(1):45-60. ISSN 1562-3297. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869301005/637869301005.pdf>.
 18. Rodríguez HV, Torres FM, José PC. Evaluación geoespacial de principales factores limitantes agroproductivos de los suelos de la granja "Guayabal". (Original). *Roca. Revista científico - educacional de la provincia Granma*. 2021 Apr 1;17(2):30-45. ISSN 2074-0735. [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://revistas.udg.co.cu/index.php/roca/article/view/2327>.
 19. Eekhout JPC, Terink W, de Vente J. Assessing the large-scale impacts of environmental change using a coupled hydrology and soil erosion model. *Earth Surface Dynamics*. 2018 Aug 29;6(3):687-703. ISSN 2196-6311. DOI 10.5194/esurf-6-687-2018. [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://esurf.copernicus.org/articles/6/687/2018/>.
 20. Portela DV, Pedroza PAB, Villamil JL, Cardona MÁQ. Cobertura del suelo bajo metodología Corine Land Cover para el bosque de Galilea y su área de influencia, Tolima, Colombia. *UD y la geomática*. 2020 Apr 16;15. ISSN 2344-8407. DOI 10.14483/23448407.15256. [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/view/15256>.

21. Benavidez R, Jackson B, Maxwell D, Norton K. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2018 Nov 27;22(11):6059-6086. ISSN 1027-5606. DOI [10.5194/hess-22-6059-2018](https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://hess.copernicus.org/articles/22/6059/2018/>.
22. Ariza-López FJ, Reinoso-Gordo JF. Métodos de orlado para la evaluación de la exactitud altimétrica en modelos digitales de elevaciones del terreno. *Revista Cartográfica*. 2021 Jun 13;103. ISSN 2663-3981. DOI [10.35424/rcarto.i103.975](https://doi.org/10.35424/rcarto.i103.975). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar/article/view/975>.
23. Martínez MsRM, Delgado DCRV, Duvergel IGC. Actualización de las clasificaciones de los suelos en experimentos "Larga Duración" de la Red INICA. *Revista Científica Agroecosistemas*. 2018 Dec 7;6(3):82-88. ISSN 2415-2862. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/223>.
24. Díaz MM, Jiménez AH, Rodríguez JAC, Blandino DV, Planes FM, Monzote FF, Fundora AB, Cañizares PJG, Benítez YB, Lazo GC, Fundora YH, Vidal ZT, Torre DG de la. Degradación de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la Llanura Roja de la Habana, por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 2019;9(3):650-650. ISSN 2304-0106. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/650>.
25. Rodríguez Castillo JF. Morfometría de depresiones kársticas a escala detallada: El Cedral, Cozumel, México. 2021. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/3202>, [Accepted: 2023-06-29T22:13:56Z].
26. Paredes C, Matos H, Vega R de la, Pardo E. Reconocimiento semiautomático de depresiones kársticas mediante análisis clúster de las distribuciones morfométricas y su aplicación al karst del Estado de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 2019;36(2):270-288. ISSN 1026-8774, 2007-2902. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57265251010>.
27. Molerio León L. Conflictos ambientales en cuevas turísticas y estrategias de solución. 3. El sistema soporte. *Cub@: Medio Ambiente Y Desarrollo*, 2020;12(23). Disponible en: <https://cmad.ama.cu/index.php/cmad/article/view/184>.
28. Febles González JM. Avances en la degradación de los suelos en las regiones kársticas de Cuba. Conferencia impartida en el V Simpósio ABC (Argentina – Brasil – Cuba) - Solos e Saúde Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, Brasil. 2021.
29. Febles-González JM, Febles-Díaz JM, Amaral-Sobrinho NM, Zonta E, Maura-Santiago AV. Mitos, realidades e incertidumbres sobre la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos en Cuba. *Cultivos Tropicales*. 2020 Sep;41(3). ISSN 0258-5936. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362020000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
30. Febles-González JM, Febles-Díaz JM, Brasil do Amaral-Sobrinho NM, Zonta E, Maura-Santiago AV, Febles-González JM, Febles-Díaz JM, Brasil do Amaral-Sobrinho NM, Zonta E, Maura-Santiago AV. Avance de los procesos kárstico-erosivos de los suelos en el polje San José de las Lajas. *Cultivos Tropicales*. 2021 Dec;42(4). ISSN 0258-5936. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362021000400007&lng=es&nrm=iso&tlng=en.
31. Garcés N, Hernández A, Caro I, Arteaga M. El humus de suelos cubanos en ecosistemas tropicales conservados y la energía. *Terra Latinoamericana*. 2009;27(2):85-96. ISSN 0187-5779. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792009000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
32. González JMF, Díaz JMF, Carreño MBV, Sorzano AH, Santiago AVM, Becerra AT, Sobrinho NMB do A, Zonta E, Robaina AM. Resiliencia y protección agroambiental de los suelos Ferralíticos Rojos en regiones Kársticas del occidente de Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 2022;12(2):1081. ISSN 2304-0106. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/1081>.
33. Bennett HH. Los Suelos de Cuba [en línea]. La Habana: Editorial Orbe; 1962. p. 344. Disponible en: <https://edepot.wur.nl/484764>.
34. Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Castro Speck N. La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *CulTrop [Internet]*. 31 de marzo de 2019 [citado 28 de enero de 2024];40(1):e15. Disponible en: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1504>
35. Febles González JM. La erosión de los suelos en las regiones cársicas de la provincia de La Habana [en línea] [Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas]. La Habana; 1988. Disponible en: <http://www.indirural.ual.es/descargas/docDescargas/II3-1.pdf>.
36. Diversificación, Banco de Fomento Agrícola e Industrial de Cuba. Los Suelos y la agricultura en los municipios de Alquizar y de Güira de Melena [en línea]. 1957. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/128936>. [Accepted: 2012-02-28T19:53:37Z].
37. Gounou E. Aplicación del enfoque morfoedafológico al estudio de la variabilidad de algunos suelos en un geosistema cársico [en línea] [tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas]. La Habana,

- Cuba; [s.f]. Disponible en: <http://www.indirural.ual.es/descargas/docDescargas/II3-1.pdf>.
38. Febles-González JM, Vega-Carreño MB, Tolón-Becerra A, Lastra-Bravo X. Land Degradation & Development. Assessment of soil erosion in karst regions of Havana, Cuba. *Land Degradation & Development*. 2012;23(5):465-474. ISSN 1099-145X. DOI [10.1002/ldr.1089](https://doi.org/10.1002/ldr.1089). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.1089>.
 39. Hernández CE, Carrazana YB, Quintana LJO, Vega M. Prácticas de conservación de suelos en la Finca Eliecer del municipio Cumanayagua, Cuba. *Revista Científica Agroecosistemas*. 2018;6(2):112-120. ISSN 2415-2862. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/200>.
 40. Santander-Mendoza SD, Falcón-Acosta M del C, Suárez-Santana M, Durán-Álvarez JL. Structure Degradation in an Agrogenic Soil. Analysis of Incident Factors and Associated Conservation Measures. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2021;30(4). ISSN 2071-0054. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542021000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=en.
 41. García Coronado JA, Medina H. Moisture retention curves and their estimation by means of pedotransfer functions in agricultural soils of Artemisa and Mayabeque [Tesis de Doctorado]. Agrarian University of Havana, La Habana; 2011.
 42. Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Speck NC. La clasificación de suelos de Cuba. *Cultivos Tropicales*. 2019;40(1). ISSN 1819-4087. [Consultado: 1 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193261173015>.
 43. Febles González JM, Febles Díaz JM, Moura Brasil N, Tolón A. Progress in agro – environmental policy for the protection of soil biodiversity in Cuba. Conference given at Global Symposium on Soil Biodiversity. 2021.
 44. Sosa D, Peña B, Escobar AC, Sosa D, Peña B, Escobar AC. Evaluación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos en granjas pecuarias y su relación con la inocuidad en pasto y leche. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2018;52(3):283-295. ISSN 2079-3480. [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2079-34802018000300283&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
 45. Sosa D, Hilber I, Faure R, Bartolomé N, Fonseca O, Keller A, Bucheli TD, Escobar A. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in urban and semi-urban soils of Havana, Cuba. *Journal of Soils and Sediments*. 2019;19(3):1328-1341. ISSN 1614-7480. DOI [10.1007/s11368-018-2137-6](https://doi.org/10.1007/s11368-018-2137-6). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2137-6>.
 46. Febles Díaz JM, Febles González JM, Azanza Ricardo J, Sotelo Pérez M, González Calvo T. Export of nutrients to the sea in a karstic basin in the west of Cuba. *SN Applied Sciences*. 2020;2(11):1917. ISSN 2523-3971. DOI [10.1007/s42452-020-03679-x](https://doi.org/10.1007/s42452-020-03679-x). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03679-x>.
 47. Aboukila EF, Norton JB. Estimation of Saturated Soil Paste Salinity From Soil-Water Extracts. *Soil Science*. 2017;182(3):107. ISSN 0038-075X. DOI [10.1097/SS.000000000000197](https://doi.org/10.1097/SS.000000000000197). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2017/03000/Estimation_of_Saturated_Soil_Paste_Salinity_From.4.aspx.
 48. Jiménez Osornio JJ, Estrada Medina H, Álvarez Rivera O, Barrientos Medina RC. El karst de Yucatán: su origen, morfología y biología. *Acta Universitaria*. 2019;29(1). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext∓pid=S0188-62662019000100211.
 49. 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):573-580. ISSN 1099-145X. DOI [10.1002/ldr.2184](https://doi.org/10.1002/ldr.2184). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2184>.
 50. Febles González JM, Febles Díaz JM, Moura Brasil N, Tolón A. Progress in agro – environmental policy for the protection of soil biodiversity in Cuba. Conference given at Global Symposium on Soil Erosion. 2019.
 51. Instituto de Suelos. Mapa de Erosión Potencial (ser. E, Atlas Nacional de Cuba XL Aniversario de IGT). La Habana: CITMA; 2019.
 52. Estrada Medina H, Jiménez Osornio JJ, Álvarez Rivera O, Barrientos Medina RC. El karst de Yucatán: su origen, morfología y biología. *Acta universitaria*. 2019. ISSN 0188-6266. DOI [10.15174/au.2019.2292](https://doi.org/10.15174/au.2019.2292). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-62662019000100211&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
 53. Gutiérrez RDG, López JLO, Villa ÓRM, García ÓAB. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*. 2019;24. ISSN 1578-5157. DOI [10.21138/GF.622](https://doi.org/10.21138/GF.622). [Consultado: 2 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/622>.