



Influencia compleja del relieve en la erosión de los suelos Ferralíticos Rojos a escala local

Complex influence of relief on the erosion of Red Ferrallitic soils at a local scale

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

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

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

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

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

RESUMEN: Estudiar el relieve a través del análisis morfológico permite tipificar formas, elementos y estructuras del relieve kárstico que auxilian en el entendimiento de la génesis, evolución y dinámica que asume la erosión de los suelos Ferralíticos Rojos, circunstancia particularmente importante en la Llanura Kárstica Meridional Habana - Matanzas, para comprender cómo y por qué cierta información es preservada y otra se pierde conforme la investigación se ejecuta de una escala a otra, lo que ha propiciado ciertos mitos e incertidumbres sobre los procesos de degradación de estos suelos. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la influencia compleja del relieve y la escala geográfica en la comprensión de los procesos kárstico - erosivos en las áreas de influencia de las depresiones kársticas, a partir de una línea base de más de tres décadas, que demuestra el avance unidireccional de la dinámica kárstico - erosiva, en conformidad con las condiciones de uso y manejo a que han estado sometidos. Se concluye que el reconocimiento y evolución espacio - temporal de las formas de erosión solo es posible realizarla a escala local y no a partir de un re-escalamiento simple de las variables a grandes áreas, para así evitar diferentes interpretaciones en los mapas de erosión de los suelos Ferralíticos Rojos en Cuba.

Palabras clave: degradación, karst, relieve.

ABSTRACT: Studying the relief through morphological analysis allows typifying forms, elements and structures of the karst relief that help in the understanding of the genesis, evolution and dynamics assumed by the erosion of the Red Ferrallitic soils. It is a particularly important circumstance in the Southern karst Plain Havana-Matanzas, to understand how and why certain information is preserved and others are lost as the research is carried out from one scale to another, which has led to certain myths and uncertainties about the degradation processes of these soils. The present work aims to analyze the complex influence of relief and geographic scale on the understanding of karst-erosive processes in the areas of influence of karst depressions from a baseline of more than three decades, which demonstrates the unidirectional advance of karst-erosive dynamics in accordance with the conditions of use and management to which they have been subjected. It is concluded that the recognition and spatio-temporal evolution of erosion forms is only possible at a local scale and not from a simple rescaling of the variables to large areas, in order to avoid different interpretations in the erosion maps of the Red Ferrallitic soils in Cuba.

Key words: degradation, karst, relief.

*Autor para correspondencia: jmfebles@yahoo.com

Recibido: 13/10/2022

Aceptado: 22/01/2023

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

Contribución de los autores: Desarrollo de la investigación en campo, análisis estadístico, interpretación, estructura y diseño del manuscrito- José M: Febles González. Interpretación, análisis estadístico y corrección del manuscrito- José Miguel Febles Díaz. Toma y procesamiento de datos de campo- Ana Maura Santiago. Análisis de los resultados obtenidos- Alfredo Tolón Becerra; Nelson M. B. do Amaral Sobrinho; Everaldo Zonta.

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

Estudios de suelos realizados en la Llanura Sur de La Habana han demostrado que en la variabilidad de la cobertura ferralítica influye, fundamentalmente, el relieve y la permeabilidad del material sustentador; si estos dos factores son evaluados a una escala más grande se constata que el desarrollo de formas kársticas (dolinas, uvalas, poljes, etc.) y sus consecuencias sobre el microrelieve crean condiciones propicias para la manifestación diferenciada de procesos erosivos estrechamente relacionados con las variaciones del micro relieve (1).

En este contexto, la escala desempeña un concepto integrador ampliamente utilizado en diversas disciplinas para referirse a las cualidades y extensión geográfica de los objetos de estudio, así como para precisar algunos principios metodológicos de la investigación científica en relación con los métodos de muestreo e inferencia, de los cuales se derivan las propiedades de los objetos geográficos que emergen o se visualizan de forma diferente de acuerdo con el nivel en que se defina (2, 3).

Circunstancia particularmente importante en la Llanura Kárstica Meridional Habana - Matanzas para reconocer las modalidades específicas de la erosión de los suelos Ferralíticos Rojos y determinar cómo y por qué cierta información es preservada y otra se pierde conforme la investigación se ejecuta de una escala a otra, lo que ha propiciado ciertos mitos e incertidumbres sobre los procesos de degradación de estos suelos, a los que el MINAG (4); CIGEA (5); Instituto de Suelos (6) e IGT (7), continúan clasificándolos como "no erosionados", por la generalización conceptual que imponen las escalas de representación, donde no es posible manejar el concepto de extensión que proporciona el objeto, situación sobre la

cual resulta imperativo recapacitar dado el incuestionable valor edafológico - patrimonial de estos suelos (8).

Reflexionando sobre estas consideraciones y, tomando como referencia investigaciones y artículos publicados que revelan los efectos de la morfogénesis kárstica en los suelos Ferralíticos Rojos en el occidente de Cuba, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la influencia compleja del relieve y la escala geográfica en la comprensión de los procesos kárstico - erosivos en las áreas de influencia de las depresiones kársticas, a partir de una línea base de más de tres décadas, que demuestra el avance unidireccional de la dinámica kárstico - erosiva, en conformidad con las condiciones de uso y manejo a que han estado sometidos los suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de las áreas investigadas

La investigación se desarrolló en el polje de San José de Las Lajas provincia Mayabeque, específicamente, en la localidad de referencia Rosafé Signet con una extensión de 107 ha (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 (9).

Este agroecosistema ha sido clasificado como uno 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 (10,11). Los suelos más difundidos son, predominantemente, del Tipo Ferralítico Rojo Lixiviado, que se puede correlacionar con el Nitisol ródico éutrico (12) y al orden Oxisol de la Soil Taxonomy (13), donde las diferencias están dadas por el tipo de utilización de la tierra y la distribución de los horizontes.

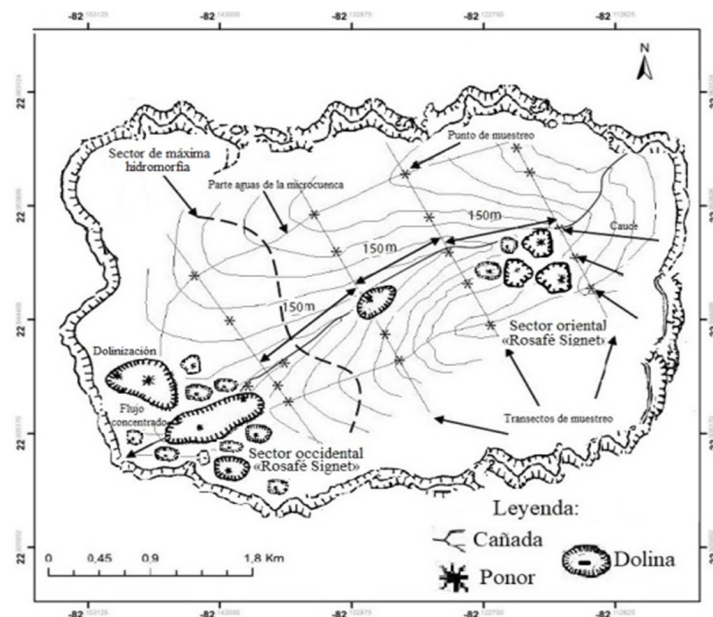


Figura 1. Transectos y sitios de muestreo en la localidad «Rosafé Signet» del polje de San José de Las Lajas, provincia Mayabeque

La metodología estuvo sustentada en la aplicación del Sistema Integrador de Métodos Cualitativos y Cuantitativos para las regiones kársticas propuesto por (14), caracterizándose las depresiones kársticas y sus regímenes de inundación, así como cuatro perfiles principales en los suelos 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 geológico - geomorfológicas y uso agrícola (Figura 1).

El análisis morfométrico de las formas de absorción kársticas (dolinas) se realizó a escala 1: 5 000 y constituyó el índice diagnóstico fundamental para evaluar las manifestaciones e intensidad de la karstificación (Tabla 1). Es de destacar que, en el año 1966, fecha en que fue creado el Centro de Inseminación Artificial «Rosafé Signet», no existía ninguna depresión kárstica en sus áreas de producción agrícola.

Con las depresiones kársticas identificadas, se reconocieron las cotas máximas (escarpas) y las cotas mínimas (fondos) de cada depresión. Una vez marcados los fondos y las escarpas de las depresiones, se convirtieron a polígonos y, posteriormente, se le asignó un ID a cada escarpa, de manera de conservar sus campos de altura dentro de sus atributos, de acuerdo con la propuesta de (15).

Los valores de pérdidas de suelos en unidades de masa ($t\ ha^{-1}año^{-1}$), correspondientes a los períodos 1986 al 2019, fueron convertidos en unidades de longitud ($mm\ año^{-1}$), de acuerdo a la propuesta de (16). La interpretación de los límites de tolerancia de pérdidas considerados, fueron los propuestos por el modelo USLE (17) 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

Análisis histórico - evolutivo de la morfogénesis en las depresiones kársticas

Estudiar el relieve en localidades de referencia de larga data permite tipificar formas, elementos y estructuras de las depresiones kársticas en su evolución dinámica, especialmente, cuando las investigaciones realizadas en Cuba han subestimado las modalidades específicas que asume la erosión de los suelos Ferralíticos Rojos en estos enclaves, que evidencian fenómenos no susceptibles de ser cartografiados o prácticamente ausentes a escalas de mayor magnitud.

No obstante, durante cada lluvia intensa las aguas pluviales y de riego superficial portadoras, casi siempre, de cierto contenido de anhídrido carbónico en disolución, cuando escurren por los diferentes elementos del meso y microrelieve (Figura 1), lo hacen de forma difusa, dirigida básicamente hacia las depresiones kársticas como consecuencia de la concavidad manifiesta de las vertientes, así como del acusado desmembramiento horizontal del territorio, donde las formas de absorción y sus elementos componentes ganan secuencialmente en magnitud, ejerciendo de manera gradual un mayor control sobre el escurrimiento superficial.

En efecto, el sostenido 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 2), confirman 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 ($t0_{:1986-1996}$: 27,80% y $t1_{:1996-2019}$: 30,77% de la superficie agrícola total), como el surgimiento de otras formas de absorción detectadas en varias etapas de exploración, lo que demuestra el avance irreversible de la karstificación en su evolución unidireccional (18).

Complementariamente, la evolución secuencial de los parámetros morfométricos conlleva a incrementos en los volúmenes de pérdidas de suelos, principalmente, en las vertientes del tipo colectoras de lavado 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 que tienden a adquirir formas elipsoides o ameboideas (19), donde las magnitudes de pérdidas de suelos superan los valores umbrales de tolerancia de $12,5\ t\ ha^{-1}\ año^{-1}$, que es el máximo aceptable propuesto por la USLE (20). 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 alcanzar el 87,5 % de las mismas, en regiones similares (21).

En contraste, en algunos casos la cobertura de suelos ferralítica puede modelar por acúmulo estas depresiones con una arcilla de color rojo, llamada "terrarossa", que enmascara de cierto modo el mecanismo de acción relacionado, lo cual ha provocado, en gran medida, la subvaloración de este complejo proceso, que solo es posible advertir *in situ* y cartográficamente cuando es representado a escala local, pues como se sabe, cada investigación se realiza a una determinada escala y sus

Tabla 1. Fórmulas utilizadas para el cálculo de los parámetros morfométricos

Índice de circularidad	Índice de aplanamiento	Relación de diámetro
$IC = \frac{Dm + dm}{DM}$	$IA = \frac{Dm + dm}{4h}$	$Rd = Dm/dm$
Donde: Dm = diámetro mayor dm = diámetro menor		DM= diámetro medio h = diferencia de altura (superficie - fondo)

Tabla 2. Volumen de pérdidas de los suelos Ferralíticos Rojos con los valores de equivalencia de remoción superficial en las depresiones kársticas y sus áreas de influencia. Localidad «Rosafé Signet», provincia Mayabeque

Dolina No.	Línea base/Monitoreo t0: ¹⁹⁸⁶⁻¹⁹⁹⁶ /t1: ¹⁹⁹⁶⁻²⁰¹⁹								Línea base t0: ¹⁹⁸⁶⁻¹⁹⁹⁶		Monitoreo t1: ¹⁹⁹⁶⁻²⁰¹⁹	
	Área (ha)		IC	IA (m ²)	RD	Volumen (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Superficial (mm año ⁻¹)	Volumen (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Superficial (mm año ⁻¹)			
• LOCALIDAD «ROSAFÉ SIGNET»												
1	1,90	2,26	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	1,13	1,33	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	3,53	3,91	1,52	1,36	5,65	5,40	14,84	9,82	21,74 MA	1,59 MA	23,63 MA	1,74 MA
4	1,90	2,30	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	2,91	3,44	1,37	1,13	11,74	8,89	30,90	22,17	9,18 T	0,67 T	11,99 A	0,88 A
6	1,37	1,74	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	2,28	2,73	1,29	1,04	7,39	7,82	105,5	76,51	13,91 A	1,02 A	12,43 A	0,89 A
8	2,45	2,80	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	1,30	1,57	1,33	1,12	13,52	10,18	46,93	28,20	9,58 T	0,70 T	10,87 A	0,80 A
10	1,50	1,96	1,38	1,28	9,67	9,66	29,66	21,23	11,12 A	0,81 A	12,55 A	0,91 A
11	3,08	3,53	1,98	1,85	9,66	8,96	6,71	5,17	18,15 MA	1,33 ^a	19,70 MA	1,43 A
12	1,43	2,23	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	1,27	1,51	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	1,88	2,19	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	1,99	2,39	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	---	0,89	---	1,26	---	8,53	---	12,88	---	0,49 T	14,53 A	1,39 A
16	---	0,93	---	1,52	---	3,87	---	7,17	---	0,76 T	15,55 A	1,97 MA
Media	---	0,91	---	1,39	---	6,2	---	10,02	---	---	15,28 A	1,19 A
• DOLINAS DETECTADAS DURANTE EL MONITOREO DEL AÑO 2019												
17	---	0,65	---	1,70	---	8,17	---	5,45	-----		8,23 T	0,38 T
18	---	0,90	---	1,49	---	7,23	---	8,01	-----		9,05 T	0,41 T
19	---	0,54	---	1,33	---	9,48	---	15,67	-----		10,69 A	0,63 A
20	---	0,64	---	1,29	---	7,66	---	9,28	-----		8,97 T	0,46 T
21	---	0,45	---	1,44	---	6,65	---	7,73	-----		9,45 T	0,74 T
Media	---	0,64	---	1,45	---	7,84	---	9,23	-----		9,28 T	0,52 T

L.B. (Línea base t0:¹⁹⁸⁶⁻¹⁹⁹⁶); M (Monitoreo t1:¹⁹⁹⁶⁻²⁰¹⁹). A: Alto; MA: Muy alto y T: Tolerable

resultados no pueden ser valorados sin considerar la escala de análisis adoptada.

Todo ello confirma la trascendencia de los estudios de amplia duración en los ecosistemas kársticos, ya que las transformaciones de las formas del relieve son complejas y no pueden valorarse completamente a corto plazo, lo que ha generado conclusiones erróneas y predicciones imprecisas en la toma de decisiones para el manejo de los suelos Ferralíticos Rojos (22).

En ocasiones, esta fase de madurez de la morfogénesis kárstica ha resultado favorable para la ampliación parcial de algunas dolinas bajo un proceso de captura o piratería fluvial (Figura 2), en la que la depresión más favorecida, ya sea por la forma de las pendientes en sus contornos o amplitud de su microcuenca, logra ensancharse por la erosión regresiva o remontante de su cabecera a expensas de la menos favorecida, pudiendo originar una uvala.

Este avance en la karstificación intensifica las condiciones de hidromorfismo y disolución de los materiales subyacentes con un desigual filtraje temporal y con una fuerte porosidad efectiva (entre 5 y 15 %), que se demuestra morfométricamente por el descenso en profundidad (hasta 5,34 m) y aumento en la karstificación,

como ha ocurrido con las dolinas No. 2 y 3 (Tabla 1), donde esta última, con una microcuenca de mayor capacidad de recepción decapita o despoja la cabecera de escurrimiento de la dolina No.2 (Figura 3).

Dinámica similar es de prever con las dolinas 10 y 11 en un escenario futuro generando diferentes asociaciones o fenómenos de miniaturización en el propio complejo territorial a nivel de micro y nano relieve, induciendo la “dolinización” (con marcada tendencia hacia el endorreísmo), por efecto de las prácticas de manejo, cambios en el uso de la cobertura edáfica, eventos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático, etc., pudiendo alcanzar el proceso kárstico su fase paroxismal con una reducción sustancial del fondo de tierra útil del agroecosistema, lo que coincide con los resultados obtenidos por (23, 24) en regiones similares.

No obstante, esta morfodinámica puede estar modificada por las peculiaridades que caracterizan el desarrollo y mantenimiento de las pendientes (declive, longitud y forma), la regularidad estructuro - litológica, así como por las líneas del drenaje difuso que muestran los sectores que descienden hacia las formas de absorción kársticas (Figura 4), con afloramientos de calizas

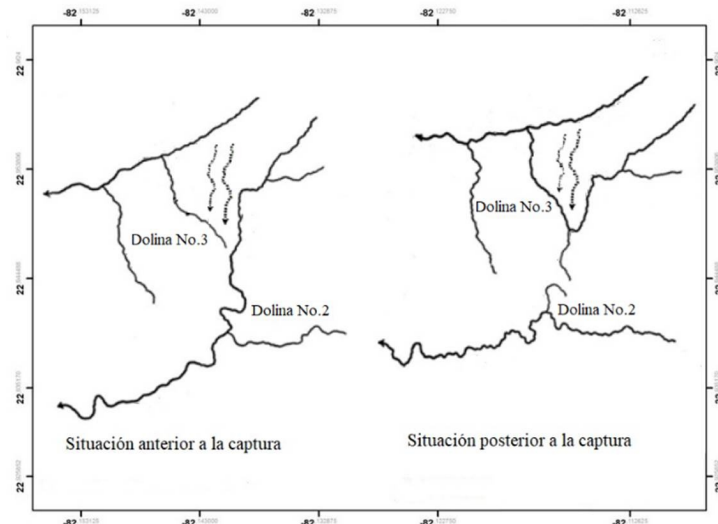


Figura 2. Captura fluvial en el sector occidental de la localidad «Rosafé Signet», provincia Mayabeque, Cuba

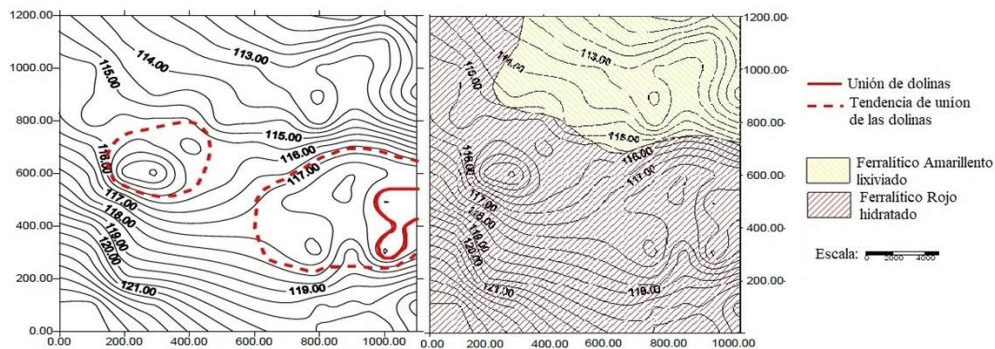


Figura 3. Tendencia de unión de dos dolinas para originar una uvala en la localidad «Rosafé Signet», provincia Mayabeque, Cuba

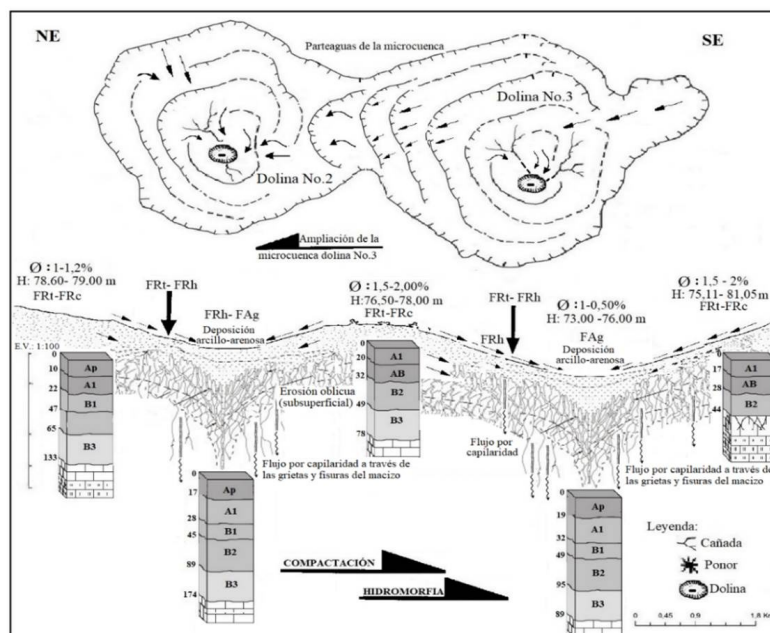


Figura 4. Evolución de la dolina No.3 de fondo plano o irregular a uvala, a expensas de la microcuenca de la dolina No.2, Polje de San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba

subangulares fragmentadas y orientadas en dirección a dichas depresiones, donde la vegetación hidrófila se ubica a niveles por debajo de los 50 m en los fondos de las dolinas, etc., que constituyen, a simple vista, rasgos de un proceso degradativo en pleno desarrollo, que a nivel de microrelieve pueden adoptar modalidades propias, influyendo en las pérdidas de los suelos (25).

Es necesario indicar que, la relación entre área de las dolinas y los parámetros morfométricos no constituye una condición *sine qua non* para el análisis de las pérdidas de suelos, ya que dicha relación es muy dependiente del grado de irregularidad de los contornos de las formas de absorción y condiciones de uso de la cobertura edáfica, en un mismo espacio a lo largo del tiempo (26).

La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de los procesos kárstico - erosivos

Teniendo en consideración estos aspectos (27-29), se precisa la necesidad de incorporar la escala local como un nivel de resolución asociado a un área específica y físicamente delimitable para diferenciar a nivel de meso, micro y nanorelieve el conjunto de procesos que contemporáneamente participan en la formación o degradación de los suelos Ferralíticos Rojos y entender cómo las manifestaciones de la erosión hídrica y kárstico - erosivas se generan o expresan de forma diferente conforme se mueve de una escala a otra (Figura 5) (30) modificado, contribuyendo así a una mejor comprensión de la dinámica espacio - temporal que tiene lugar en las depresiones y sus áreas de influencia, ya que estas zonas se caracterizan por ser parte de un todo que la contiene y es mucho más amplia.

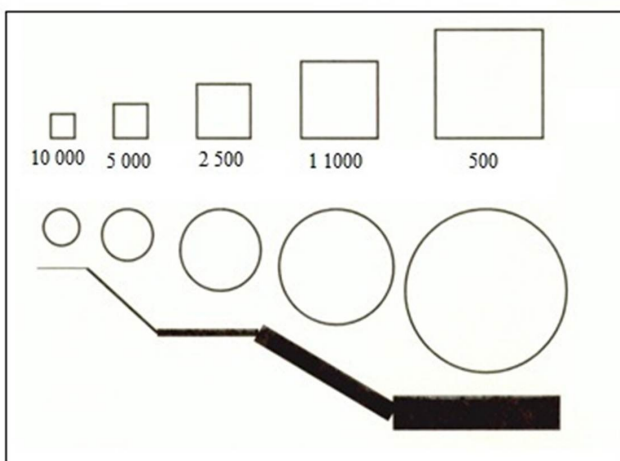


Figura 5. La percepción cartográfica de la dolina y área de influencia depende de su superficie

Es importante tener en cuenta que esto sugiere problemas en el nivel de análisis o síntesis, puesto que están limitados o sesgados por la escala cartográfica que representa el fenómeno, de esta forma, se niega la posibilidad de percibir lo que pasa a escalas superiores o

inferiores, afectando significativamente el análisis y explicación del fenómeno kárstico - erosivo.

En este sentido, las autoridades del centro «Rosafé Signet», conscientes del progresivo avance de las depresiones kársticas y, en un intento de recuperar el fondo de tierra destinado al cultivo de pastos para forrajes, vertieron en la dolina No. 3 en el año 2003 un total de 20 camiones con capacidad entre 5 - 7 t, que representó un volumen de más de 100 t (E. Lamoroux, *comun. pers.*). Es de significar que en la fase ejecutiva de la investigación pudo constatarse que la dolina no se rellenó, y que el proceso de disolución a través del ponor continúa. Por tanto, esta práctica no fue nada efectiva desde el punto de vista ambiental, por obstruir las vías de drenaje por las cuales tiene lugar el escurrimiento (ponores funcionales). Tampoco fue efectiva desde el punto de vista económico.

Sin embargo, la presencia de dolinas, a menudo, no es considerada un problema para la prevención de pérdidas de suelos y otros desastres naturales, ya que estas formas suelen ser relegadas en términos de riesgos geológicos, aun cuando su entorno de influencia esté próximo a núcleos urbanos, zonas agrícolas o industriales, que pueden alterar las condiciones iniciales del balance pedogénesis - morfogénesis, donde la preservación del paisaje kárstico debe resultar prioritaria, de ahí la importancia de la escala para explicar correctamente estos fenómenos geográficos.

CONCLUSIONES

- El reconocimiento y evolución espacio - temporal de las formas de erosión hídrica y kárstico - erosivas en las áreas de influencia de las depresiones kársticas, solo es posible realizarlo a escala local y no a partir de un re-escalamiento simple de las variables a grandes áreas, para así evitar diferentes interpretaciones en los mapas de erosión de los suelos Ferralíticos Rojos en Cuba.
- Cualquiera sea el concepto adoptado, la relatividad en la visión de un mismo hecho, desde distintas escalas, constituye una opción sumamente enriquecedora para definitivamente demostrar la erosión de los suelos Ferralíticos Rojos en las regiones kársticas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Herrera Sorzano A. Mayabeque: Atlas agrícola de una provincia cubana [Internet]. La Habana, Cuba: UH; 2019. Available from: <https://isbn.cloud/9789597251262/mayabeque-atlas-agricola-de-una-provincia-cubana/>.
2. Colin-Olivares O, Frausto-Martínez O, Rodríguez-Castillo J. Cálculo automatizado de la profundidad de depresiones kársticas a escala detallada. In: Conocimientos y saberes del karst tropical en México [Internet]. México: Acts With Science; 2019. p. 55-78. Available from: <https://www.amek.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/LibroConocimientos-Cap%C3%ADtulo-12.pdf>
3. Jeannin P-Y, Artigue G, Butscher C, Chang Y, Charlier J-B, Duran L, *et al.* Karst modelling challenge 1: Results of

- hydrological modelling. *Journal of Hydrology* [Internet]. 2021 [cited 2024 Feb 12];600:126508. doi:10.1016/j.jhydrol.2021.126508
4. Olegario C. INFORME FINAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA. 2020; Available from: https://www.unccd.int/sites/default/files/ldn_targets/2020-10/Cuba%20LDN%20TSP%20Final%20Report%20%28Spanish%29.pdf
 5. PANORAMA AMBIENTAL. Cuba Edición julio [Internet]. [cited 2024 Feb 12]. Available from: <https://1library.co/document/q53v5jjz-panorama-ambiental-cu-b-edici%C3%B3n-julio.html>
 6. Environment UN. Evaluacion del Medio Ambiente Cubano - GEO Cuba [Internet]. UNEP - UN Environment Programme. 2007 [cited 2024 Feb 12]. Available from: <http://www.unep.org/resources/report/evaluacion-del-medio-ambiente-cubano-geo-cuba>
 7. Basulto JMM, Machín JAL, Alvarez ON, Hernández SVR, Pérez ST. El Atlas Nacional de Cuba "LX Aniversario". Hacia un atlas vivo. *Revista Cubana de Geografía* [Internet]. 2020 [cited 2024 Feb 12];2(1). Available from: <http://revistasgeotech.com/index.php/rcg/article/view/318>
 8. Febles González JM, Febles Díaz JM, Vega Carreño MB, Herrera Sorzano A, Maura Santiago AV, Tolón Becerra A, *et al.* Resiliencia y protección agroambiental de los suelos Ferralíticos Rojos en regiones Kársticas del Occidente de Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba* [Internet]. 2022 [cited 2024 Feb 12];12(2). Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2304-01062022000200003&lng=es&nrm=iso&tling=es
 9. Febles González JM, Vega Carreño MB. Soil Erosion maps. In: *Mayabeque: atlas agrícola de una provincia cubana* | ISBN 978-959-7251-26-2 - Libro [Internet]. La Habana, Cuba: UH; [cited 2024 Feb 12]. Available from: <https://isbn.cloud/9789597251262/mayabeque-atlas-agricola-de-una-provincia-cubana/>
 10. Gutiérrez EOP. Cambio climático y la gestión de la adaptación. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial* [Internet]. 2020 [cited 2024 Feb 12];4(3): 322-33. Available from: <https://apye.esceg.cu/index.php/apye/article/view/142>
 11. Capote JFH, Ramírez CMG, Jardines PG. Protocolo de alerta de fenómenos meteorológicos peligrosos que afectan la agricultura en las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque. *Revista Cubana de Meteorología* [Internet]. 2021 [cited 2024 Feb 12];27(1). Available from: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/548>
 12. 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* [Internet]. 2019 [cited 2024 Feb 12];40(1):a15-e15. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1504>
 13. Schad P. Technosols in the World Reference Base for Soil Resources - history and definitions. *Soil Science and Plant Nutrition* [Internet]. 2018 [cited 2024 Feb 12];64(2):138-44. doi:10.1080/00380768.2018.1432973
 14. Febles JM, Vega MB. 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* [Internet]. 2008;42(3):313-7. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193015504016.pdf>
 15. Martínez OF-, Castillo JFR, Olivares OC. MORPHOMETRY OF KARST DEPRESSIONS AT DETAILED SCALE: EL CEDRAL, COZUMEL - MEXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [Internet]. 2021 [cited 2024 Feb 12];24(1). doi:10.56369/tsaes.3657
 16. Achmad M, Samsuar, Lanuru M, Mubarak H. Predicting the impact of land-use changes on soil erosion rates in the three small sub-catchments of Larona Catchment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [Internet]. 2021 [cited 2024 Feb 12];807(2):022074. doi:10.1088/1755-1315/807/2/022074
 17. 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* [Internet]. 2018 [cited 2024 Feb 12];22(11):6059-86. doi:10.5194/hess-22-6059-2018
 18. Febles-González JM, Febles-Díaz JM, Moura Brasil do Amaral-Sobrinho N, Zonta E, Maura Santiago AV. Progress of the karstic-erosive processes of soils in San José de las Lajas polje. *Cultivos Tropicales*. 2021;42(4). Available from: http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v42n4/en_1819-4087-ctr-42-04-e07.pdf
 19. 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* [Internet]. 2020 [cited 2024 Feb 12];2(11):1917. doi:10.1007/s42452-020-03679-x
 20. Aboukila EF, Norton JB. Estimation of Saturated Soil Paste Salinity From Soil-Water Extracts. *Soil Science* [Internet]. 2017 [cited 2024 Feb 12];182(3):107. doi:10.1097/SS.000000000000197
 21. Estrada Medina H, Jiménez Osornio JJ, Álvarez Rivera O, Barrientos Medina RC, Estrada Medina H, Jiménez Osornio JJ, *et al.* El karst de Yucatán: su origen, morfología y biología. *Acta universitaria* [Internet]. 2019 [cited 2024 Feb 12];29. doi:10.15174/au.2019.2292
 22. UFRRJ [Internet]. [cited 2024 Feb 12]. Available from: <https://eventos.ufrj.br/simposio-abc/v-simposio-3/>
 23. 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* [Internet]. 2019 [cited 2024 Feb 12];(24):141-58. doi:10.21138/GF.622
 24. 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* [Internet]. 2019 [cited 2024 Feb 12];36(2):270-88. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57265251010>
 25. Fragoso-Servón P, Pereira-Corona A. Suelos Y Karst, Origen De Inundaciones Y Hundimientos En Chetumal,

- Quintana Roo, México. *European Scientific Journal*, ESJ [Internet]. 2018 [cited 2024 Feb 12];14(14):33-33. doi:10.19044/esj.2018.v14n14p33
26. Moreno-Gómez M, Liedl R, Stefan C. A New GIS-Based Model for Karst Dolines Mapping Using LiDAR; Application of a Multidepth Threshold Approach in the Yucatan Karst, Mexico. *Remote Sensing* [Internet]. 2019 [cited 2024 Feb 12];11(10):1147. doi:10.3390/rs11101147
27. Febles González JM, Febles Díaz J m., 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* [Internet]. 2019 [cited 2024 Feb 12];30(1):109-16. doi:10.1002/ldr.3192
28. Valenzuela C. Una mirada geográfica a la escala como instrumento de construcción de la realidad [Internet]. [cited 2024 Feb 12]. Available from: <https://www.revistatabulara.org/numero39/una-mirada-geografica-a-la-escala-como-instrumento-de-construccion-de-la-realidad/>
29. Matos H, Paredes C, 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* [Internet]. 2019 [cited 2024 Feb 12];36(2):270-88. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57265251010>
30. Villalba EP. Reseña de "Espacio y territorio. Instrumentos metodológicos de investigación social" de Hubert Mazurek. *Revista de Geografía Agrícola* [Internet]. 2009 [cited 2024 Feb 12];(43):172-3. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75715608010>