



## Características de los suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados de la llanura meridional alta de Pinar del Río

### Characteristics of the Red Leached Fersialitic soils of the high southern plain of Pinar del Río

 Greter Carnero-Lazo\*,  Alberto Hernández-Jiménez,  Andy Bernal-Fundora,  Elein Terry-Alfonso

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

**RESUMEN:** La fertilidad de los suelos se considera un factor determinante en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, principalmente en las regiones tropicales donde los procesos de transformación y translocación de sustancias son más enérgicos en la formación de los suelos en comparación con las regiones templadas. Esta problemática está relacionada por el factor climático, principalmente las precipitaciones y la temperatura que son más acentuadas en estas zonas. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un estudio edafológico detallado de la Unidad Base Productiva “El Pitirre”, en la provincia Pinar del Río, mediante la aplicación del método geográfico comparativo dokuchaeviano, con el objetivo principal de evaluar las propiedades edafológicas. Para ello, se diagnostican los diferentes factores de formación de suelos, lo que con sus propiedades morfológicas, físicas y químicas, se establece el proceso de formación de suelo; que es la base principal de la clasificación de los suelos de Cuba. Sobre estos resultados, se diagnosticó un nuevo tipo genético de suelos, el Fersialítico Rojo Lixiviado, con varios subtipos según las diferencias del relieve y por causas antrópicas. Además, se demostró que los suelos son del tipo de perfil ABtC, profundos, de color rojo, arcillosos, formado de sedimentos cuaternarios antiguos ricos en basalto, en relieve ondulado a alomado, con pH de reacción ácida y poseen un contenido de bajo a muy bajo en potasio y fósforo asimilables.

**Palabras clave:** edafología, clasificación, fertilidad.

**ABSTRACT:** Soil fertility is considered a determining factor in the availability of nutrients for plants, mainly in tropical regions where transformation and translocation processes of substances are more energetic in soil formation compared to temperate regions. This problem is related to the climatic factor, mainly rainfall and temperature, which are more accentuated in these areas. Considering the above, a detailed edaphological study of "El Pitirre" Productive Base Unit, in Pinar del Río province, was carried out through the application of the Dokuchaevian comparative geographic method, with the main objective of evaluating the edaphological properties. For this, different factors of soil formation are diagnosed, which with their morphological, physical and chemical properties, the soil formation process is established; which is the main basis for soil classification in Cuba. On these results, a new genetic type of soils was diagnosed, the Red Leached Fersialitic, with several subtypes according to relief differences and anthropic causes. In addition, it was shown that the soils are of the ABtC profile type, deep, red, clayey, formed from ancient Quaternary sediments rich in basalt, in undulating to hilly relief, with acid reaction pH and have a low to very low content of assimilable potassium and phosphorus.

**Key words:** edaphology, classification, fertility.

\*Autor para correspondencia: [gretercarnerolazo@gmail.com](mailto:gretercarnerolazo@gmail.com)

Recibido: 20/01/2020

Aceptado: 28/07/2021

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

Hace aproximadamente dos años se constituyó la Entidad de Ciencia, Tecnología e Innovación (ECTI) "Sierra Maestra" la cual avanza en el desarrollo de variados proyectos experimentales en los cuales se emplean plantas y semillas de altos valores proteicos. En la actualidad, de conjunto con otros organismos nacionales se desarrollan diversos productos medicinales y alimenticios; tales como el empleo de la morera (*Morus alba* L.), la stevia (*S. rebaudiana* Bertoni), la flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), la acerola (*Malpighia emarginata*) y la cúrcuma (*C. longa* L.), pues poseen propiedades que controlan el azúcar en personas diabéticas e incorporan vitaminas (1-5) y el cultivo de la sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), de cuyas semillas se extrae un aceite que contiene omega 3, 6 y 9 (6-8).

El Agrupamiento de suelos Fersialíticos se caracteriza por ser de perfil ABC, de mediano a poco profundos, formados por el proceso de fersialitización, con un horizonte de diagnóstico fersialítico. Se establecen sobre diferentes rocas madres (carbonatadas, ígneas, básicas, ultrabásicas, intermedias, ácidas). En la última versión de clasificación de los suelos de Cuba dentro de este grupo de suelos hay tres Tipos genéticos: Fersialítico Pardo Rojizo, Fersialítico Rojo y Fersialítico Amarillento (9).

No obstante, en la investigación desarrollada en la Finca "El Pitirre" (93,36 ha) se encontró un suelo Fersialítico Rojo Lixiviado (FrsRL) que no existe como tipo genético en la actual versión de clasificación de los suelos de Cuba de 2015, pero que si estaba en la versión de 1999, ocupando una extensión de 73,77 ha. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el objetivo de este trabajo es evaluar las características genético-geográficas de la formación de estos suelos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y selección del área de estudio

La unidad agrícola "El Pitirre" constituye una de las fincas que integran a la ECTI "Sierra Maestra", la cual se encuentra situada geográficamente a 10 km al Norte del municipio de Los Palacios en la provincia de Pinar del Río; entre las coordenadas de Latitud: 317, 319 N y Longitud: 269, 271 E.

En la investigación de los suelos se aplicó el método geográfico comparativo dokuchaeviano, el cual consiste en el estudio de la morfología del perfil de los suelos, sus características, distribución y su relación con los factores de formación del suelo (FFS), estableciendo al mismo tiempo los procesos de formación de los mismos y su clasificación (10). Este método proporciona recomendaciones para mejorar la fertilidad y productividad de los suelos. El estudio se realizó en un área aproximada de 100 ha, utilizando como base cartográfica un mapa de la región 1:10 000. Se tomaron seis perfiles de suelos según las diferencias del relieve de los cuales se analizaron cinco.

### Caracterización y clasificación de los suelos objeto de estudio

Los suelos se clasificaron según la Clasificación de los Suelos de Cuba (9), además de las clasificaciones internacionales: Soil Taxonomy (11) y World Reference Base (12).

### Análisis físico

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Las evaluaciones y los métodos analíticos empleados fueron los siguientes:

- composición mecánica: por el método de Bouyoucos modificado, utilizando pirofosfato de sodio para eliminar materia orgánica y hexametafosfato de sodio como dispersante.
- textura: se determinó mediante el triángulo textural.
- densidad de volumen (Dv): en campo utilizando cilindros de 100 cm<sup>3</sup>.
- determinación de la humedad natural o de campo: mediante el método gravimétrico.
- Reservas de Carbono Orgánico (RCO) por el método internacional:
- $RCO (Mg\ ha^{-1}) = Carbono\ Orgánico\ (\%) \times Dv\ (kg\ dm^{-3}) \times espesor\ (cm)$

donde:

$$Carbono\ Orgánico\ (\%) = Materia\ Orgánica\ (\%) / 1,724$$

### Análisis químico

Las muestras se analizaron en el laboratorio mencionado anteriormente, mediante los métodos descritos a continuación:

- pH en agua: se determinó según el método potenciométrico, relación suelo: agua 1:2,5.
- pH en cloruro de potasio: relación suelo: solución 1:2,5.
- MO: por el método de Walkley & Black.
- cationes intercambiables: por el método de extracción con acetato de amonio 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7 y determinación por complejometría (Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup>) y fotometría de llama (K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup>).
- fósforo asimilable: por el método de Oniani.
- potasio asimilable se calcula a partir de los resultados obtenidos en el potasio intercambiable.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Factores de formación de los suelos

La Finca "El Pitirre" se encuentra actualmente en dos formas de relieve principalmente; un relieve fuertemente

ondulado, con pendientes que oscilan entre 6 y 12 % y algunas zonas con relieve ondulado con pendientes más suaves de 2-4 %. Está situada en la parte más alta de la llanura costera sur de Pinar del Río (100-120 m s.n.m.), en un pie de monte aledaño a la Sierra de los Órganos. El relieve actual evolucionó en el Período Cuaternario desde un relieve llano a suavemente ondulado, hasta el fuertemente ondulado debido a movimientos neotectónicos que tuvieron lugar durante la formación de la llanura costera sur (13).

El material de origen es de sedimentos cuaternarios antiguos, representados por materiales de rocas básicas y ultrabásicas sobre piedras grandes de roca caliza; ambas formaciones son del período Cuaternario antiguo. Se plantea que en el Cuaternario antiguo, el clima de Cuba fue muy húmedo (14,15). Por esto se estima que, en este nivel de terraza antigua de la Llanura Sur de Pinar del Río, bajo un clima antiguo muy lluvioso, hubo sedimentos con piedras grandes (mayores de 10-15 cm) de caliza y sobre la misma, sedimentos con fragmentos de rocas básicas y ultrabásicas, que se encuentran en la Sierra.

El clima actual es tropical subhúmedo con precipitaciones que oscilan entre 1500 a 1600 mm anualmente, con la mayor incidencia en el verano (mayo a octubre) y temperatura media alrededor de 24-25 °C (Estación Agrometeorológica de Paso Real de San Diego, Pinar del Río, 2019).

La vegetación primaria pudo ser de bosques semidecíduos, actualmente sustituida en gran parte por una vegetación secundaria de marabú (*Dichrostachys cinérea* L.).

### Procesos de formación de suelos

Por la interacción de los FFS, a partir del período Cuaternario, se formaron suelos relativamente intemperizados, y por otra parte, debido al clima tropical y en el tiempo, estos han estado sujetos al proceso intenso de lavado que pudieron ser más evolucionados que actualmente, quedando posiblemente como raíces de suelos Ferralíticos formados antiguamente. Lo anteriormente planteado se corrobora por la distribución del mapa genético de los suelos de Cuba 1:250 000, en el cual aparecen clasificados como Latosólicos Rojos poco evolucionados formados de materiales transportados de rocas básicas y ultrabásicas (16).

Por los datos de la interacción de los FFS, conjuntamente con las características de la morfología de los perfiles, así como los resultados analíticos; se puede diagnosticar que en estos suelos actualmente se manifiestan procesos de formación de fersialitización y lixiviación. Además, hay presencia de un horizonte argílico por los resultados de los análisis de textura. Sobre la base de que son suelos con acumulación de hierro libre por el color rojo, y tienen la composición sialítica por los datos de las bases cambiables en 100 g de arcilla, da lugar al proceso de fersialitización (17).

El proceso de *fersialitización* se diagnostica por la Suma de Bases Cambiables (SBC), que a pesar que los suelos están bajo un proceso de intemperismo marcado, no es propia de la fersialitización, ya que la SBC es mayor de 20 cmol en el suelo, lo que significa que en arcilla debe ser más alta y para la fersialitización debe ser menor de 20 cmol en 100 g de arcilla, según la Clasificación de Suelos de Cuba (9). Siguiendo lo establecido en esta clasificación, para el establecimiento del perfil diagnóstico se coloca el horizonte B con el subindicador frs, que indica que el suelo es Fersialítico. El proceso de *lixiviación* se presenta por el enriquecimiento en arcilla en el horizonte Bt (B textural), que en todos los casos hay una diferencia de 8 % o mayor con relación al horizonte A (propio de los horizontes argílicos, para suelos que tienen 40 % o más en el horizonte A), como resultado de este proceso. En el establecimiento del perfil diagnóstico se coloca con el subindicador t, que quiere decir textural.

### Tipos de suelos y sus características

#### Suelo Fersialítico Rojo Lixiviado mullido y húmico (FrsRLmh)

Este suelo ocupa la parte alta y estable del relieve con vegetación conservada, ya sea de pastizales o pastizales entre arboleda ya establecida. Está representado por los perfiles 1 y 4, con un perfil diagnóstico Amh-Btfrs-BCgr-CRca, ocupan un área de 5 ha, son de color pardo rojizo bien marcado en el horizonte Bt y son medianamente profundos con un horizonte subyacente rico en piedras de rocas calizas duras y redondeadas a 45-50 cm de profundidad. A continuación, se presenta las características morfológicas, químicas y físicas de ambos perfiles de suelos:

Según los resultados del análisis mecánico y la determinación de la textura (Tabla 1), tienen textura franco - arcillo - arenosa a arcillo - arenosa en el horizonte A y más arcillosa en el Bt. La estructura es muy buena en el horizonte A, del tipo granular, por lo que entre otras características se clasifica como mullido por el color, la estructura y la saturación por bases (18,19).

La reacción del suelo en superficie es ligeramente ácida, contenido bajo en fósforo asimilable y muy bajo en potasio asimilable. La relación  $Ca^{+2}/Mg^{+2}$  en superficie en el perfil 1 es entre 7 y 8, que resulta alta; sin embargo, en el perfil 4 es ideal, pues se encuentra en el rango entre 4 y 5 (Tabla 2).

Presentan contenido en MO de 4 % o más en un espesor de 20 cm en la parte superficial, por lo que se clasifican como húmico además de mullido (9). Por esto, las RCO resultan relativamente altas en ambos perfiles, principalmente entre 64 y 84 Mg ha<sup>-1</sup> para la capa de 0-20 cm, en correspondencia con el grado de humificación del suelo en condiciones conservadas (Tabla 3).

**Tabla 1.** Composición mecánica del suelo FrsRLmh

Horizonte	Profundidad (cm)	Ag (2,0-0,2)	Af (0,2-0,02)	Lg (0,02-0,01)	Lf (0,01-0,002)	Arcilla < 0,002	Textura
<b>Perfil 1</b>							
A <sub>11</sub> h	0-14	46,53	6,00	8,00	4,00	35,47	Franco Arcillo Arenosa
A <sub>12</sub> h	14-29	33,25	8,00	6,00	5,28	47,47	Arcillosa
Bt	29-41	33,25	10,00	4,00	7,28	47,63	Arcillosa
<b>Perfil 4</b>							
A <sub>11</sub> m	0-10	38,53	8,00	6,00	4,00	43,47	Arcillo arenosa
A <sub>12</sub> m	10-24	37,25	2,00	12,00	2,00	46,75	Arcillosa
Bt	24-55	33,81	4,00	4,00	5,28	52,91	Arcillosa
CRca	55-70	39,25	8,00	6,00	2,00	44,75	Arcillo arenosa

Ag: arena gruesa, Af: arena fina, Lg: limo grueso, Lf: limo fino

**Tabla 2.** Características físico químicas del suelo FrsRLmh

Profundidad (cm)	pH		MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Bases intercambiables (cmol kg <sup>-1</sup> )				Suma
	H <sub>2</sub> O	KCl	(%)	mg 100g <sup>-1</sup>	mg 100g <sup>-1</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
<b>Perfil 1</b>										
0-14	6,6	6,5	4,90	3,9	9,4	27,5	3,5	0,10	0,20	31,3
14-29	6,5	6,5	4,25	3,7	7,5	26,0	5,0	0,14	0,16	31,3
29-41	6,4	6,3	2,94	4,6	7,0	30,0	3,0	0,14	0,15	33,3
<b>Perfil 4</b>										
0-10	5,8	5,8	4,40	3,7	7,0	19,0	5,0	0,13	0,15	24,3
10-24	6,0	5,9	4,47	5,0	6,6	17,0	3,5	0,12	0,14	20,8
24-55	6,7	6,4	1,91	5,0	5,1	16,5	4,5	0,10	0,11	21,2
55-70	6,8	6,6	1,67	3,9	3,3	15,5	4,0	0,08	0,07	19,7

**Tabla 3.** Contenido y reservas del carbono del suelo FrsRLmh

Profundidad (cm)	MO	C	Dv	W	Reservas de C	Reservas de C (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	(%)	(%)	(kg dm <sup>-3</sup> )	(%)	(Mg ha <sup>-1</sup> )	0-20	0-30	0-50
<b>Perfil 1</b>								
0-14	4,90	2,84	1,17	17	46,5	64	83	Nd
14-29	4,25	2,47	1,39	21	44,1			
29-41	2,94	1,71	1,21	24	24,9			
<b>Perfil 4</b>								
0-10	4,40	2,55	1,69	16,82	43,1	84	111	148
10-24	4,47	2,59	1,58	19,25	57,3			
24-55	1,91	1,11	1,66	16,71	57,1			
55-70	1,67	0,97	Nd	Nd	Nd			

Nd= no determinado

### Suelo Fersialítico Rojo Lixiviado erogénico (FrsRLer)

Este suelo se presenta en fase de pendiente o en parte alta y estable, bajo siembra reciente con muy poca cobertura vegetal o se encuentra preparado para sembrar, sin cobertura vegetal. En el proceso de desmonte de marabú para la siembra, tuvo lugar pérdidas de suelo alrededor de 20 cm, que aún se manifiestan en plantaciones muy recientes (un año o menos) por la poca cobertura vegetal entre los arbustos.

Debido a las pérdidas por erosión se clasifican como subtipos de suelo erogénico. Están representados por los perfiles 2, 5 y 6. Los perfiles 2 y 5 son poco erosionados, mientras que el perfil 6 es fuertemente erosionado, ya que

perdió gran parte del horizonte A y parte del B, aflorando un horizonte BA en superficie.

Estos suelos de subtipo erogénico ocupan una superficie de 68,77 ha, los que son suavemente erosionados son de perfil o de tipo Aer-Bt-B<sub>3</sub>gr-CRca y los medianamente erosionados son de perfil o de tipo BA-Bt-Bgr-CRca. Resultan más profundos que los anteriores, llegando hasta 80-85 cm de profundidad si se incluye el horizonte B<sub>3</sub>gr. En los resultados del análisis mecánico y la determinación de la textura (Tabla 4), tienen horizonte arcilloso a areno arcilloso en superficie, que pasa a un horizonte Bt, con cutanes bien diferenciados.

Los suelos con presencia de minerales arcillosos 2:1, como los Fersialíticos, generalmente en relieves ondulados-alomados, cuando se dedican a la producción

**Tabla 4.** Composición mecánica y textura del suelo FrsRLer

Horizonte	Profundidad (cm)	Ag (2,0-0,2)	Af (0,2-0,02)	Lg (0,02-0,01)	Lf (0,01-0,002)	Arcilla < 0,002	Textura
<b>Perfil 2 (poco erosionado)</b>							
Aer	0-13	34,53	8,00	4,00	6,00	47,47	Arcillosa
B <sub>1</sub>	13-24	30,53	6,00	3,28	6,00	54,19	Arcillosa
B <sub>21</sub>	24-43	31,81	6,00	4,00	6,00	52,19	Arcillosa
B <sub>22t</sub>	43-71	29,25	6,00	4,00	4,00	56,75	Arcillosa
<b>Perfil 5 (poco erosionado)</b>							
Aerp	0-18	40,53	6,00	6,00	4,00	43,47	Arcillo arenosa
B <sub>1t</sub>	18-41	32,37	8,00	4,00	6,00	51,63	Arcillosa
B <sub>2t</sub>	41-66	34,53	6,00	3,28	6,00	50,19	Arcillosa
<b>Perfil 6 (fuertemente erosionado)</b>							
BAer	0-14	39,25	8,00	4,00	4,00	44,75	Arcillo arenosa
Bt	14-40	38,37	4,00	3,00	1,28	53,35	Arcillosa
BCgr	40-60	39,25	6,00	2,00	4,00	48,75	Arcillosa

Ag: arena gruesa, Af: arena fina, Lg: limo grueso, Lf: limo fino

**Tabla 5.** Características físico químicas del suelo FrsRLer

Profundidad (cm)	pH		MO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg 100g <sup>-1</sup>	K <sub>2</sub> O mg 100g <sup>-1</sup>	Bases intercambiables (cmol kg <sup>-1</sup> )				Suma
	H <sub>2</sub> O	KCl				Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
<b>Perfil 2 (poco erosionado)</b>										
0-13	6,0	5,9	3,97	3,2	9,0	29,5	4,5	0,07	0,19	34,3
13-24	5,0	4,6	2,34	3,2	7,5	26,5	8,0	0,12	0,16	34,8
24-43	5,1	4,9	2,94	4,4	8,4	23,5	9,0	0,09	0,18	32,8
43-71	5,2	4,9	1,88	3,9	3,9	29,0	4,0	0,16	0,14	33,3
<b>Perfil 5 (poco erosionado)</b>										
0-18	6,5	6,2	3,37	3,4	9,8	18,5	4,5	0,13	0,21	23,3
18-41	5,7	4,8	2,20	3,0	5,6	20,0	2,5	0,14	0,12	22,8
41-66	5,9	5,2	1,88	7,1	7,1	16,0	4,5	0,15	0,13	20,8
<b>Perfil 6 (fuertemente erosionado)</b>										
0-14	6,1	5,9	2,55	3,0	3,3	15,0	3,0	0,10	0,07	18,2
14-40	5,7	5,8	2,34	3,2	3,7	18,5	4,0	0,10	0,08	22,7
40-60	5,4	5,4	2,22	4,6	6,6	19,0	2,0	0,23	0,14	21,4

agrícola se erosionan fácilmente (20). Esta particularidad es más acentuada cuando en el horizonte B presentan propiedades vérticas o el horizonte argílico. En el caso específico de los suelos Fersialíticos Rojos de la Finca, resultan lixiviados por la presencia del horizonte argílico. Debido a lo expuesto anteriormente, estos suelos se erosionan fácilmente y en este caso están erosionados por la influencia antropogénica; es por ello que se clasifican como erogénicos, siguiendo lo establecido en la Clasificación de los Suelos de Cuba de 2015.

Al analizar las características físico químicas del suelo FrsRLer (Tabla 5), los resultados reflejaron que el pH en superficie es de reacción ligeramente ácida, que disminuye en profundidad, llegando a alcanzar valores menores de 5,0 en cloruro de potasio, pero sin llegar a ser menores de 4,5, por lo que se deduce que no son Alfíticos. Al igual que en los perfiles anteriores, tienen contenidos bajos y muy bajos en fósforo y potasio asimilables. En relación con las bases cambiables, al igual que en los otros suelos, predominan el calcio y el magnesio, con una relación Ca<sup>+2</sup>/Mg<sup>+2</sup> adecuada (entre 2 y 6).

El suelo FrsRL, que tiene reacción de neutra a medianamente ácida, es diferente a los Fersialíticos Rojos formados de caliza en Cuba, caracterizados (20,21). Este suelo FrsRL, es similar al que se clasificó inicialmente en Cuba como Red Soil (22) y al denominado Red Soil, en la India, China (23) y como Krasnozióm en la zona cálida de la antigua URSS (10,24,25).

Con respecto al contenido en MO en los poco erosionados, no resulta bajo, sino entre 3 y 4, que se clasifica como mediano; pero en los fuertemente erosionados es menor de 3,0 % por lo que se consideran como bajos (26). Estas diferencias se manifiestan también en las RCO, siendo el perfil fuertemente erosionado con menor cantidad en CO que todos los suelos anteriores. Si se comparan con el subtipo húmico se puede ver que estos últimos tienen un contenido más alto en MO y, por tanto, en RCO (Tabla 6).

Es notable que estos suelos a pesar de que son erogénicos no son tan bajos en MO ni en RCO, lo cual pueda estar relacionado con la acción de la vegetación que existía anteriormente en esa superficie que era de marabú.

Este tipo de vegetación durante muchos años conlleva al enriquecimiento en MO y nitrógeno al suelo. Es posible que en el tiempo con el pastizal que se implante entre los árboles ya sea con moringa o acerola, estos suelos alcancen la categoría de húmicos. Además, los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados tienen cierta evolución, con un contenido relativamente alto de hierro libre, estimado de 6-7 %. Es necesario destacar, que estudios recientes constatan que la labranza activa el hierro para prevenirla pérdida de carbono orgánico del suelo tras la conversión de bosques a maizales en suelos rojos ácidos tropicales (27).

### Pérdidas en RCO en suelos FrsRL por la erosión

Como puede observarse por los resultados de estas investigaciones (Tabla 7), los perfiles tomados bajo marabú tienen un contenido mayor de RCO que los suelos erogénicos, tanto para la capa de 0-20 cm como las de 0-50 y 0-100 cm. Si se realiza una generalización promediando las RCO en estos perfiles se obtiene que para la capa de 0-20 cm los suelos con cobertura de marabú tienen 74 ton ha<sup>-1</sup> de RCO; mientras que los suavemente erosionados es de 55 y los medianamente erosionados de 40 t ha<sup>-1</sup> de RCO. Por lo que los poco erosionados han perdido 19 ton ha<sup>-1</sup> de RCO y los medianamente erosionados 34 t ha<sup>-1</sup> de RCO.

La eliminación del marabú como vegetación secundaria que estaba establecida en estos suelos, en relieve ondulado alomado, trajo como consecuencia la manifestación del proceso de erosión, con pérdidas del horizonte A, que conlleva al mismo tiempo a pérdidas de RCO. Esta problemática ha sido estudiada en otras regiones, donde se evidencia que con la erosión del suelo se pierde MO y por tanto RCO (28-32).

El problema de las pérdidas de carbono en los suelos constituye un tema de investigación actual, ya que la captura y secuestro de carbono por los suelos es una de las medidas más importantes para evitar las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y por tanto para combatir el cambio climático (CC) (33-38). Dichas pérdidas en gran parte enriquecen los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), que a su vez está conllevando al calentamiento de la atmósfera que provoca el denominado CC, principalmente por el cambio de uso del suelo y las prácticas inadecuadas de manejo del mismo (39-43).

Por otra parte, las pérdidas en RCO conllevan al deterioro de distintas propiedades de los suelos (44). Teniendo en cuenta la importancia que tiene esta problemática, en Cuba se han realizado algunas investigaciones que demuestran cómo las pérdidas de RCO en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de las llanuras

**Tabla 6.** Contenido y reservas del carbono del suelo FrsRLer

Profundidad (cm)	MO (%)	C (%)	Dv (kg dm <sup>-3</sup> )	W (%)	Reservas de C (Mg ha <sup>-1</sup> )	Reservas de C (Mg ha <sup>-1</sup> )		
						0-20	0-30	0-50
<b>Perfil 2 (poco erosionado)</b>								
0-13	3,97	2,30	1,21	17	36,1	49	71	114
13-24	2,34	1,36	1,33	24	19,9			
24-43	2,94	1,71	1,45	28	47,1			
43-71	1,88	1,09	1,49	22	45,5			
<b>Perfil 5 (poco erosionado)</b>								
0-18	3,37	1,95	1,49	21	52,30	60	75	112
18-41	2,20	1,28	1,50	19	44,16			
41-66	1,88	2,09	1,62	18	43,87			
<b>Perfil 6 (fuertemente erosionado)</b>								
0-14	2,55	1,48	1,36	18	28,18	40	59	99
14-40	2,34	1,36	1,41	12	49,86			
40-60	2,22	1,29	1,60	13	41,28			

**Tabla 7.** Cuadro comparativo por el contenido en RCO (t ha<sup>-1</sup>) en los suelos FrsRL

Suelos	FrsRLmh (Perfiles 1 y 4)	Perfil diagnóstico: A <sub>11</sub> h-A <sub>12</sub> h-B-BCgr-CRca-Rca y A <sub>11</sub> m-A <sub>12</sub> m-Bt-CRca-R
	RCO	0-20      0-30      0-50
		64          83          Nd
		84          111        148
	FrsRLer suavemente erosionado (Perfiles 2 y 5)	Perfil diagnóstico: Aer-B <sub>1</sub> -B <sub>21</sub> -B <sub>22</sub> t y Aerp-B <sub>1</sub> -B <sub>2</sub> t-B <sub>3</sub> gr-CRca
	RCO	0-20      0-30      0-50
		51          73          115
		60          75          112
	FrsRLer fuertemente erosionado (Perfil 6)	Perfil diagnóstico: BAer-Bt-BCgr
	RCO	0-20      0-30      0-50
		40          59          99



cársicas, influyen negativamente en otras propiedades del suelo (45). Los resultados obtenidos sirven de indicadores para establecer el subtipo de suelos agrogénico en este tipo de suelo, según la clasificación de suelos de Cuba (9). De igual forma se han obtenido, recientemente, resultados sobre la cuantificación de estas pérdidas en  $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$  para estos suelos, según su uso (46).

### Suelo Fersialítico Rojo Lixiviado gléyico

Se encuentran situados, principalmente, en el paisaje II, en las terrazas fluviales hacia la presa. En ellos para su uso agrícola es importante tener en cuenta la pendiente, ya que algunos se encuentran en la parte intermedia entre la pendiente y la parte baja cerca de los arroyos. A pesar que este suelo está situado en una parte del relieve relativamente alta, hay síntomas de gleyzación en el mismo, como resultado de una formación con más influencia de exceso de humedad que en la actualidad. Esta situación va cambiando a medida que el relieve fue ascendiendo por los movimientos neotectónicos en el período Cuaternario (5), y no tiene esa influencia tan marcada como ocurre en las partes bajas del relieve, donde la gleyzación es actual por las manchas que presenta el suelo, debido al proceso de oxidación reducción por el estancamiento temporal que se produce en épocas de lluvia. Es decir, en esta parte del relieve, se pueden formar subtipos gléyicos, mientras que en las terrazas más bajas los suelos son Gleysoles (1,10).

### CONCLUSIONES

- El estudio de la caracterización detallada de los suelos del agrupamiento Fersialítico permitió aclarar su clasificación, así como demostrar que los niveles de fertilidad de los elementos esenciales, fósforo y potasio asimilables, son muy bajos.
- El suelo FrsRL tiene varios subtipos; en áreas conservadas se presenta el suelo FrsRL húmico, y mullido en las partes altas del relieve. En regiones más bajas se forma el suelo FrsRL gléyico. Además, debido a la pérdida de suelo por causas antrópicas, se clasifican los subtipos FrsRL erogénico y FrsRL erogénico y gléyico.

### RECOMENDACIONES

- Tomar en consideración los resultados de este trabajo para la posibilidad de abrir un nuevo Tipo genético de Fersialítico Rojo Lixiviado en la próxima versión de Clasificación de los Suelos de Cuba.
- Desarrollar acciones para elevar el contenido de fósforo y potasio del suelo, y, a su vez lograr una adecuada nutrición de las plantas proteicas (moringa, morera, tithonia y cratylia) en la unidad productiva.
- Realizar la actualización de la fertilidad de los suelos, mediante el muestreo agroquímico cada cuatro años. Además, monitorear el estado del carbono ya que sería

muy importante para la captura y secuestro de carbono por las plantas proteicas presentes en la finca.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Rodríguez SG, Botello MAE. Stevia La Hierba Dulce ¿ Puede crecer en Tabasco? Kuxulkab' [Internet]. 2021;27(58):41-7. Available from: <https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/3920>
2. Lugo-Morales Y, Díaz-Solares M, Altunaga-Pérez N, Castro-Cabrera I, Sande-Santos D, Aparecida-Takahashi J, et al. Contenido de antocianinas, vitamina C y actividad antioxidante en siete variedades de frutos de *Morus alba* L. Pastos y Forrajes [Internet]. 2021 [cited 24/01/2022];44. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0864-03942021000100018&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942021000100018&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
3. Arslan M, Zareef M, Tahir HE, Rakha A, Xiaobo Z, Mahunu GK. Chapter 11 - Medicinal and therapeutic potential of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). In: Mariod AA, Tahir HE, Mahunu GK, editors. Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) [Internet]. Academic Press; 2021 [cited 24/01/2022]. p. 155-86. doi:10.1016/B978-0-12-822100-6.00007-0
4. de Moura Macêdo M do A, Souza RTB, Costa DN, dos Santos JO, dos Reis RB, da Silva LL, et al. Prospecção científica e tecnológica de quercetina: uso de espécies de *Malpighia* L. (acerola) como potencial para o tratamento de COVID-19. Research, Society and Development [Internet]. 2022;11(1):e19711124715-e19711124715. Available from: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/24715>
5. Arlı M, Çelik H, Fakültesi E. The Biological Importance of Curcumin. 2020 [cited 24/01/2022]; Available from: <http://acikerisim.agri.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12501/2016>
6. González Medina S. Revisión bibliográfica sobre la caracterización del aceite de semilla de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) y las propiedades de sus emulsiones. 2021; Available from: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/51635/22697.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. Goyal A, Tanwar B, Sihag MK, Sharma V. Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.): An emerging source of nutrients, omega-3 fatty acid and phytochemicals. Food Chemistry [Internet]. 2022;373:131459. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814621024651>
8. Kodahl N, Sørensen M. Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Is an Underutilized Crop with a Great Potential. Agronomy [Internet]. 2021;11(6):1066. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/6/1066>
9. Hernández-Jimenez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch Infante D. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Libro [Internet]. [cited 24/01/2022]. Available from:

- <https://isbn.cloud/9789597023777/clasificacion-de-los-suelos-de-cuba-2015/>
10. Dobrovolskii G, Urusevskii IS. Geografía de Suelos (en ruso) [Internet]. Rusia: Universidad de Moscú; 2006 [cited 24/01/2022]. Available from: <https://www.chitai-gorod.ru/catalog/book/946395/>
  11. Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy, Li F, Gong Z, Zhongguo ke xue yuan, Nanjing tu rang yan jiu suo, Guo jia zi ran ke xue ji jin wei yuan hui (China). Chinese soil taxonomy [Internet]. Beijing; New York: Science Press; 2001. Available from: <https://www.worldcat.org/title/chinese-soil-taxonomy/oclc/52117246>
  12. FAO F and AO. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps [Internet]. FAO. Roma; 2015. Available from: <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>
  13. Iturralde Vinent MA. Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico en Cuba. 1977;24.
  14. Gradusov, B. P., Cherniajovski, A. G., Chiyikova I. P. Composición mineralógica de la fracción arcillosa de los suelos en relación con la evolución del medio (en ruso). En colección de artículos científicos “Génesis y fertilidad del suelo de las regiones del sur y su utilización. Instituto de Suelos V. V. Dokuchaev; 1987. 106-113 p.
  15. Kartashov, I. P., Cherniajovski, A. G., Peñalver, L. El Antropógeno de Cuba (en ruso). Moscú: Nauka; 1976. 107-145 p.
  16. Mapa Genético de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelos: Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía; 1970.
  17. Hernández, A., Ascanio M.O., Morales M., Bojórquez J.I., García N.E. y García J.D. El Suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo [Internet]. México: Universidad Autónoma de Nayarit; 2006. 255 p. Available from: <https://www.worldcat.org/title/suelo-fundamentos-sobre-su-formacion-los-cambios-globales-y-su-manejo/oclc/310768849>
  18. 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;40(1). Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0258-59362019000100015&lng=es&nrm=iso&tln g=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362019000100015&lng=es&nrm=iso&tln g=es)
  19. Zúñiga Ugalde F. Essential of Soil Science: Soil Formation, Functions, Use and Classification (World Reference Base, WRB). 2018. *Agro Sur*; Vol. 47 Núm. 1 (2019) [Internet]. 2019;171. Available from: <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/5934>
  20. Jiménez AH, Benítez YB, Amaya FLM, Cruz MM. Presencia de propiedades vérticas en los suelos Fersialíticos de la antigua provincia La Habana. 2011;32(2):6. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193222422002.pdf>
  21. Bernal-Fundora A, Hernández-Jiménez A, González-Cañizares PJ, Cabrera-Rodríguez A. Caracterización de dos tipos de suelos dedicados a la producción de plantas forrajeras. *Cultivos Tropicales* [Internet]. 2019;40(3). Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000300005&script=sci\\_arttext&tln g=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000300005&script=sci_arttext&tln g=en)
  22. Hernández Jiménez A. Importancia del estudio genético de los suelos. 1966; Consejo del Plan de la Enseñanza Tecnológica de Suelos, Fertilizantes y Ganadería. La Habana, Cuba, No. 2:36-65.
  23. Gong Zitong. Progress in Soil Classification of China. In: Soil Classification. Report of the International Conference on Soil Classification, 12-16 September 1988. Alma-Ata, URSS; 1990. 123-141 p.
  24. Egorov, V. V., Fridland, V. M., Ivanova, E. I., Rozov, N. N., Nosin, V. A., Frieve, T. A. Diagnóstico y Clasificación de los Suelos de Rusia (en ruso). *Kolos*; 1977. 219 p.
  25. Guerasimov, I.P., Glazovskaya M.A. Fundamentals of Soil Science and Soil Geography [Internet]. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem; 1965. 382 p. Available from: <https://www.abebooks.com/Fundamentals-Soil-Science-Geography-Gerasimov-Glazovskaya/30617502070/bd>
  26. Vera Macías L, Gallo F, Guzmán Cedeño A, Jiménez A, Sacon A, Pazmiño D. Aportes al conocimiento edafológico para lograr la agricultura sostenible del sistema Carrizal - Chone [Internet]. 2017. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/330968102\\_Aportes\\_al\\_conocimiento\\_edafologico\\_para\\_lograr\\_la\\_agricultura\\_sostenible\\_del\\_sistema\\_Carrizal\\_-\\_Chone](https://www.researchgate.net/publication/330968102_Aportes_al_conocimiento_edafologico_para_lograr_la_agricultura_sostenible_del_sistema_Carrizal_-_Chone)
  27. Zong M, Lin C, Li S, Li H, Duan C, Peng C, et al. Tillage activates iron to prevent soil organic carbon loss following forest conversion to cornfields in tropical acidic red soils. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2021 [cited 24/01/2022];761:143253. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143253
  28. Luna DV, Díaz M del CC, Escamilla T de JP, Romero ÁHH, Aponte AR. Secuestro de carbono en suelo cafetalero con alta pendiente en la Sierra de Santa Marta. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* [Internet]. 2018 [cited 24/01/2022];6(1):113-20. doi:10.47808/revistabioagro.v6i1.144
  29. Gómez SPM, Berdugo SEB, Salomón JSC, Pulido SYP, Casadiego YAS, Guzmán MCV, et al. Capítulo 9. Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo. *Libros Universidad Nacional Abierta y a Distancia* [Internet]. 2019;172-87. doi:10.22490/9789586516358.09
  30. La Manna L, Tarabini M, Gomez F, Rostagno CM. Changes in soil organic matter associated with afforestation affect erosion processes: The case of erodible volcanic soils from Patagonia. *Geoderma* [Internet]. 2021;403:115265. doi:10.1016/j.geoderma.2021.115265



31. Holz M, Augustin J. Erosion effects on soil carbon and nitrogen dynamics on cultivated slopes: A meta-analysis. *Geoderma* [Internet]. 2021;397:115045. doi:10.1016/j.geoderma.2021.115045
32. Lal R. Fate of Soil Carbon Transported by Erosional Processes. *Applied Sciences* [Internet]. 2022;12(1):48. doi: 10.3390/app12010048
33. Orjuela HB. El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas* [Internet]. 2018;35(1):82-96. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6572299>
34. Schlesinger WH, Amundson R. Managing for soil carbon sequestration: Let's get realistic. *Global Change Biology* [Internet]. 2019;25(2):386-9. doi:10.1111/gcb.14478
35. Rumpel C, Amiraslani F, Chenu C, Garcia Cardenas M, Kaonga M, Koutika L-S, et al. The 4p1000 initiative: Opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy. *Ambio* [Internet]. 2020;49(1):350-60. doi:10.1007/s13280-019-01165-2
36. Leifeld J, Menichetti L. The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications* [Internet]. 2018;9(1):1071. doi: 10.1038/s41467-018-03406-6
37. Bossio DA, Cook-Patton SC, Ellis PW, Fargione J, Sanderman J, Smith P, et al. The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nature Sustainability* [Internet]. 2020;3(5):391-8. doi:10.1038/s41893-020-0491-z
38. Mayer S, Wiesmeier M, Sakamoto E, Hübner R, Cardinael R, Kühnel A, et al. Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [Internet]. 2022;323:107689. doi: 10.1016/j.agee.2021.107689
39. Hafif B, Sasmita KD. The organic carbon dynamics of peat soil under liberica coffee cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [Internet]. 2020;418(1):012021. doi: 10.1088/1755-1315/418/1/012021
40. Ramesh T, Bolan NS, Kirkham MB, Wijesekara H, Kanchikerimath M, Srinivasa Rao C, et al. Chapter One - Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review. In: Sparks DL, editor. *Advances in Agronomy* [Internet]. Academic Press; 2019. p. 1-107. doi:10.1016/bs.agron.2019.02.001
41. Tanveer SK, Lu X, Shah S-U-S, Hussain I, Sohail M. Soil Carbon Sequestration through Agronomic Management Practices [Internet]. IntechOpen; 2019. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/69508>
42. Li B-B, Li P-P, Yang X-M, Xiao H-B, Xu M-X, Liu G-B. Land-use conversion changes deep soil organic carbon stock in the Chinese Loess Plateau. *Land Degradation & Development* [Internet]. 2021;32(1):505-17. doi:10.1002/ldr.3644
43. Ansari MA, Choudhury BU, Mandal S, Jat SL, Meitei CB. Converting primary forests to cultivated lands: Long-term effects on the vertical distribution of soil carbon and biological activity in the foothills of *Eastern himalaya*. *Journal of Environmental Management* [Internet]. 2022;301:113886. doi:10.1016/j.jenvman.2021.113886
44. Mesías-Gallo FW, Hernández-Jiménez A, Vera-Macias LR, Guzmán-Cedeño ÁM, Cedeño-Sacón ÁF, Ormaza-Cedeño KP, et al. Reservas de carbono orgánico en suelos de la llanura fluvial Calceta-Tosagua, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales* [Internet]. 39(4):27-33. doi:10.1234/ct.v39i4.1477
45. Alberto Hernández, Marisol Morales, Greter Carnero, Yakelín Hernández, Zoilo Terán, Dayana Grandio, et al. Nuevos resultados sobre el cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la "LLanura Roja de La Habana" [Internet]. Ediciones INCA. 2020. 159 p. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/>
46. Carnero-Lazo G, Hernández-Jiménez A, Terry-Alfonso E, Bojorquez-Serrano JI. Cambios en la reservas de carbono orgánico en suelos ferralíticos rojos lixiviados de Mayabeque, Cuba. *Revista Bio Ciencias* [Internet]. 2019;6:12. Available from: <http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/564>