



<https://eqrcode.co/a/TxaWrK>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Structure Degradation in an Agrogenic Soil. Analysis of Incident Factors and Associated Conservation Measures

Degradación de estructura en un suelo agrogénico: análisis de factores incidentes, medidas de conservación asociadas

MSc. Sol Desireet Santander-Mendoza¹, MSc. María del Carmen Falcón-Acosta¹, Ing. Maylin Suárez-Santana¹, Ing. José Luis Durán-Álvarez¹¹.

¹ Instituto de Suelos. Boyeros, La Habana, Cuba.

¹¹ Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

ABSTRACT. The Ferrallitic soils of Havana-Matanzas Plain have been subjected to degradation processes of natural or anthropogenic origin. Their physical properties are often affected, with effects on plant growth, yield and quality of crops, also increasing vulnerability to erosion. The following work was carried out at “El Mamey” Farm, near San José de las Lajas (Mayabeque Province, Cuba) and dedicated to the cultivation of vegetables and flowers. At each sample point, a macromorphological description of the soil and determinations of organic matter, mechanical composition, apparent density, porosity and percentage of aggregation were made. From the results obtained, the structural stability index was calculated, as well as correlations of some of these variables with the organic matter of the soil, in order to identify the main incident factors in physical degradation, which suggested processes of anthropogenic origin. Based on their analysis, conservation measures are suggested in order to promote the recovery of the soil and improve the sustainability of production.

Keywords: Ferrallitic soils, Physical Properties, Macromorphological Description.

RESUMEN. Los suelos Ferralíticos de la llanura Habana-Matanzas han sido sometidos a procesos de degradación de origen natural o antropogénico. Las propiedades físicas de los mismos suelen ser afectadas, con efectos sobre el crecimiento de las plantas, el rendimiento y la calidad de las cosechas, incrementando también la vulnerabilidad a la erosión. El siguiente trabajo se realizó en la Finca “El Mamey”, cercana a San José de las Lajas (Provincia Mayabeque, Cuba) y dedicada al cultivo de hortalizas y flores. En cada punto muestral se realizó una descripción macromorfológica del suelo y determinaciones de: materia orgánica, composición mecánica, densidad aparente, porosidad y porcentaje de agregación. A partir de los resultados obtenidos se calculan el índice de estabilidad estructural, así como correlaciones de algunas de estas variables con la materia orgánica del suelo, a fin de identificar los principales factores incidentes en la degradación física, los cuales sugieren procesos de origen antropogénico. A partir de su análisis se sugieren medidas de conservación con la finalidad de propiciar la recuperación del suelo y mejorar la sostenibilidad de la producción.

Palabras clave: suelos Ferralíticos, propiedades físicas, descripción macromorfológica.

INTRODUCTION

The structure is the arrangement of the primary soil particles in hierarchical units, the configuration of their solid and fluid phases at a given moment (Kay and Angers, 2000). It is a multifactorial condition, associated with agro-

INTRODUCCIÓN

La estructura es el arreglo de las partículas primarias del suelo en unidades jerárquicas, la configuración de sus fases **sólida y fluida** en un momento dado (Kay y Angers, 2000). Es una condición multifactorial, asociada a procesos agronómicos

Author for correspondence: Sol Desireet Santander-Mendoza, e-mail: sol.santander@isuelos.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8614-1247>

Received: 10/02/2021.

Approved: 20/09/2021.

nomie and environmental processes, part of edaphogenesis and influenced by management (Lobo & Pulido, 2011). Lal *et al.* (2007) its deterioration causes compaction, accelerates erosion, generates water / air imbalance and consequently, reduces fertility.

The structure develops through physicochemical mechanisms (flocculation, cementation, adhesion, cationic bridges, hydrogen bonds), with the intervention of the edaphic biota (Kemper & Rosenau, 1986; Six *et al.*, 2004; Lehmann & Rillig, 2015). According to Totsche *et al.* (2017) the formation of microaggregates comes from the reaction among clays, polyvalent cations and soil organic matter (SOM). According to Tisdall & Oades (1982) there is a spatial and hierarchical scale of these mechanisms in which Oades (1984) suggested the formation of microaggregates within macroaggregates, a concept that has been corroborated based on the dynamics of the SOM (Plante *et al.*, 2002; Simpson *et al.*, 2004; Kravchenko *et al.*, 2015). These microaggregates constitute the largest carbon reservoir in the soil and are essential for its capture (Blanco & Lal, 2004; Fan *et al.*, 2020).

Aggregation can be described qualitatively by observing morphological characteristics in the field and quantitative, using image analysis techniques or by measuring pore size distribution or connectivity. Other analytical procedures are based on the partial rupture of the structural units, the evaluation of the distribution of the sizes of the resulting fragments and their stability in the face of various types of disturbance.

Pieri (1995) y Astier *et al.* (2002) stated that soil fertility integrates physical, chemical and biological attributes. According to García *et al.* (2012), physical factors explain much of the decrease in crop yields, while Orellana (2009) highlights that an adequate and durable soil structure is essential for the development of sustainable agriculture systems.

In this sense, the degradation process of the Ferrallitic soils of Havana-Matanzas Plain has been studied (Morell *et al.* (2006); Hernández *et al.* (2006); Morell *et al.* (2006); Hernandez *et al.* (2013) emphasizing, the relationship between the increase in anthropic action and its effects on its physical, chemical and biological indicators. In the present work, an exploration of the available methodologies for the study of the soil structure was carried out, emphasizing the comparison of field observation and analytical determinations and the calculation of various structural stability indices in order to identify the factors generating degradation; conservation measures were defined based on the latter.

MATERIALS AND METHODS

The work was carried out at “El Mamey” Farm, located in the San José de las Lajas Municipality, Mayabeque Province, Cuba and dedicated to various crops of vegetables, meats and flowers. These soils correspond to Havana-Matanzas Plain, of karstic origin, with a humid tropical climate. Five sampling points were chosen based on the topography of the terrain, which has two slight slopes. In the first of them (5% slope) three points were located (1.1, 1.2 and 1.3 at the beginning, middle

y ambientales, parte de la edafógenesis e influenciada por el manejo (Lobo & Pulido, 2011). De acuerdo a Lal *et al.* (2007) su deterioro provoca compactación, acelera la erosión, genera desbalance agua/aire y en consecuencia, disminuye la fertilidad.

La estructura se desarrolla a través de mecanismos fisicoquímicos (floculación, cementación, adhesión, puentes catiónicos, enlaces de hidrógeno), con intervención de la biota edáfica (Kemper & Rosenau, 1986; Six *et al.*, 2004; Lehmann & Rillig, 2015). Según Totsche *et al.* (2017) la formación de microagregados proviene de la reacción entre las arcillas, los cationes polivalentes y la materia orgánica del suelo (MOS). De acuerdo a Tisdall & Oades (1982) existe una escala espacial y jerárquica de estos mecanismos; en la que, posteriormente, Oades (1984) sugirió la formación de microagregados dentro de los macroagregados, concepto que ha sido corroborado en función de la dinámica de la MOS (Plante *et al.*, 2002; Simpson *et al.*, 2004; Kravchenko *et al.*, 2015). Dichos microagregados constituyen el mayor reservorio de carbono en el suelo y son fundamentales para su captura (Blanco & Lal, 2004; Fan *et al.*, 2020).

La agregación puede describirse de manera cualitativa mediante la observación de características morfológicas en campo; y cuantitativa, utilizando técnicas de análisis de imágenes o midiendo la distribución de tamaño o la conectividad de los poros. Otros procedimientos analíticos se basan en la ruptura parcial de las unidades estructurales, la evaluación de la distribución de los tamaños de los fragmentos resultantes y su estabilidad ante diversos tipos de perturbación.

Pieri (1995) y Astier *et al.* (2002) plantearon que la fertilidad del suelo integra atributos físicos, químicos y biológicos. Según García *et al.* (2012), los factores físicos explican gran parte de la disminución de los rendimientos de los cultivos, mientras Orellana (2009) destaca que una estructura del suelo adecuada y perdurable resulta indispensable para el desarrollo de sistemas de agricultura sostenible.

En este sentido, el proceso de degradación de los suelos Ferralíticos de la llanura Habana–Matanzas ha sido estudiado por Morell *et al.* (2006); Hernández *et al.* (2006); Morell *et al.* (2006); Hernandez *et al.* (2013), enfatizando la relación entre el incremento de la acción antrópica y sus efectos en los indicadores físicos, químicos y biológicos del mismo. En el siguiente trabajo, se propone realizar una exploración de las metodologías disponibles para el estudio de la estructura del suelo, enfatizando la comparación de la observación en campo y las determinaciones analíticas y el cálculo de varios índices de estabilidad estructural a fin de identificar los factores incidentes en la degradación, así como la definición de medidas de conservación a partir de éstos últimos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado en la Finca “El Mamey”, ubicada en el municipio San José de las Lajas, Provincia Mayabeque, Cuba y dedicada a los cultivos varios de hortalizas, viandas y flores. Estos suelos corresponden a la llanura Habana–Matanzas, de origen cársico, con clima tropical húmedo. Se escogieron cinco puntos de muestreo en función de la topografía del terreno, que presenta dos pendientes ligeras. En la primera de ellas (5% de pendiente) se ubicaron tres puntos (1.1, 1.2 y 1.3 al inicio, medio

and end of the slope, respectively) and in the second (8%), of shorter length, the two were located (2.1 and 2.2) remaining at the beginning and end of it.

In each of them, a 50 cm excavation was carried out to evaluate the color, structure and texture, using the Munsell® Table, observation and organoleptic method, respectively. In addition, cylinders were taken to determine humidity NC: 110:2010 (2010), apparent density ISO 11272: 2017 (2017), total porosity, capillary and aeration NC: 1045: 2014 (2014) and soil samples to perform organic matter analysis NC: 51: 1999 (1999), mechanical composition (Bouyucos) and distribution and stability of aggregates NC 1044: 2014 (2014). From these data, the structural stability index was calculated using the equation: $I_e = \Sigma (\% \text{ ag} > 0.25 \text{ mm (Ts)}) / \Sigma (\% \text{ ag} > 0.25 \text{ mm (Th)})$.

RESULTS AND DISCUSSION

Observation of the Macromorphological Characteristics of the Soil

At each sampling point, a 50 cm excavation was made, where two layers were distinguished. The summary of the results obtained is shown in Table 1:

Pedogenesis and agrogenic evolution were evident in the morphological characteristics of the soil (Lebedeva *et al.*, 2005). The reddish tones, typical of ferralitization, are associated with alteration processes of the parent materials under conditions of high temperature, rapid degradation of OM and high release of iron. They are also indicative of high weathering, low fertility and preeminence of oxidation processes (Ovalles, 2003).

The granular structure observed is characteristic of A horizons of soils with little OM, and a consequence of the decrease in the porosity of the aggregates due to the predominance of clay over organic matter in the flocculation process Hernandez *et al.* (2013). This characteristic favors the compaction observed in the second layers of points 1.1, 2.1 and 2.2 ("plow layers"), as well as the presence of orange and gray speckles, which show poor drainage.

Hernandez *et al.* (2013) associate these conditions with the degradation of red Ferralitic soils as a consequence of inadequate agricultural management. According to these authors, the formation of plow layers is the result of the destruction of the soil structure and the increase in the content of dispersed clays in the upper horizon.

Apparent Density (Da):

The values obtained for the apparent density (Da) are shown in Figure 1.

Values greater than the 0.9 - 1.16 kg / m³ range were obtained, referential for this type of soil up to 1 m deep (Martín & Duran (2011) although they coincide with those reported by Hernandez *et al.* (2013), who attribute such differences to the intensive anthropogenesis suffered by these soils, without recent subsolation work. The highest values correspond to the second layers of sample points 1.1, 2.1 and 2.2, coinciding with the finding of the compacted layers in the excavation carried out.

y final de la pendiente, respectivamente) y en la segunda (8%), de menor longitud, se ubicaron los dos restantes (2.1 y 2.2) al principio y final de la misma.

En cada uno de ellos se realizó una excavación de 50 cm para evaluar el color, la estructura y la textura, mediante la Tabla Munsell®, observación y método organoléptico, respectivamente. Se tomaron además, cilindros para determinar humedad NC: 110:2010 (2010), densidad aparente ISO 11272: 2017 (2017), porosidad total, capilar y de aireación NC: 1045: 2014 (2014) y muestras de suelo para realizar análisis de materia orgánica NC: 51: 1999 (1999), composición mecánica (Bouyucos) y distribución y estabilidad de agregados NC 1044: 2014 (2014). A partir de dichos datos fue calculado el índice de estabilidad estructural mediante la ecuación: $I_e = \Sigma (\% \text{ ag} > 0,25 \text{ mm (Ts)}) / \Sigma (\% \text{ ag} > 0,25 \text{ mm (Th)})$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Observación de las características macromorfológicas del suelo

En cada punto de muestreo se efectuó una excavación de 50 cm, donde se distinguieron dos capas. El resumen de los resultados obtenidos se muestra en la Tabla 1:

En las características morfológicas del suelo se evidencian la pedogénesis y la evolución agrogénica (Lebedeva *et al.*, 2005). Las tonalidades rojizas, propias de la ferralitización, se asocian a procesos de alteración de los materiales parentales bajo condiciones de alta temperatura, rápida degradación de MO y alta liberación de hierro. Resultan además, indicativas de alta meteorización, baja fertilidad y preeminencia de procesos de oxidación (Ovalles, 2003).

La estructura granular observada es característica de horizontes A de suelos con poca MO, y consecuencia de la disminución de la porosidad de los agregados por el predominio de la arcilla sobre la materia orgánica en el proceso de floculación (Hernandez *et al.*, 2013). Esta característica favorece la compactación observada en las segundas capas de los puntos 1.1, 2.1 y 2.2 ("pisos de arado"), así como la presencia de moteados de color naranja y gris, que evidencian la deficiencia de drenaje.

Hernandez *et al.* (2013) asocian estas condiciones a la degradación en los suelos Ferralíticos rojos como consecuencia de un manejo agrícola inadecuado. Según estos autores, la formación de pisos de arado es resultado de la destrucción de la estructura del suelo y el aumento del contenido de arcillas dispersas en el horizonte superior.

Densidad Aparente (Da):

Los valores obtenidos para la densidad aparente (Da) se muestran en la Figura 1.

Se obtuvieron valores mayores al rango 0,9-1,16 kg/m³, referencial para este tipo de suelo hasta 1 m de profundidad según Martín & Duran (2011), aunque coincidentes con los reportados por Hernandez *et al.* (2013), quien atribuye tales diferencias a la antropogénesis intensiva sufrida por estos suelos, sin labores de subsolación recientes. Los valores más elevados corresponden a las segundas capas de los puntos muestrales 1.1, 2.1 y 2.2, coincidiendo con el hallazgo de las capas compactadas en la excavación realizada.

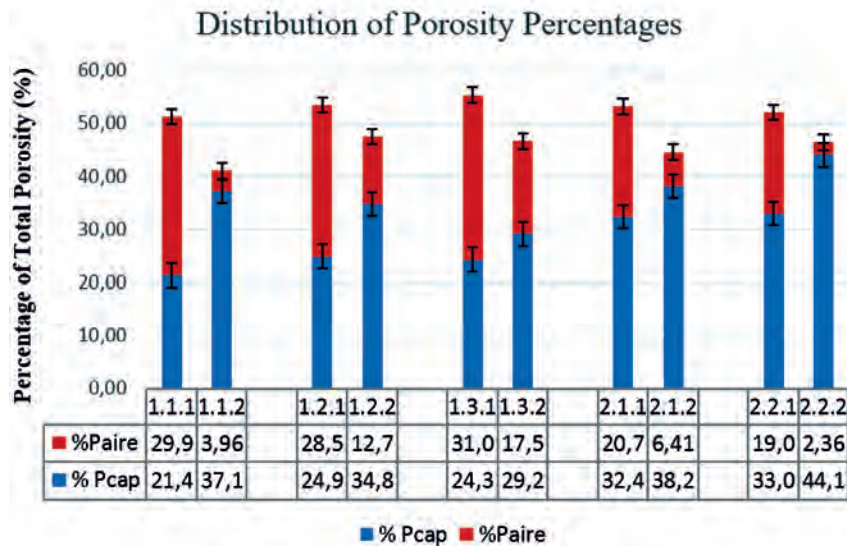


FIGURE 1. Apparent Density (kg / m³).
FIGURA 1. Densidad Aparente (kg/m³).

At all points there are restrictions for radical growth, except for 2.1.1, since the apparent density exceeds 1.25 kg / m³ (Martín & Duran, 2011). Compaction negatively affects root penetration, gas exchange, infiltration, and water retention; and as a consequence, microbial activity, nutrient absorption and mineralization processes (Six *et al.*, 2004; Morell & Hernández, 2008; Obour *et al.*, 2017).

This compaction is conditioned by the history of land use and management, which makes apparent density a very dynamic indicator of physical deterioration Shafiq *et al.* (1994; Totsche *et al.* (2017); Al-Shammary *et al.* (2018), with sensitivity for short-term estimates, as it is accompanied by other physical and biological indicators (Doran, 1994).

Mechanical Composition and Organic Matter

The results obtained are shown in Table 2:

En todos los puntos existen restricciones para el crecimiento radical, a excepción del 2.1.1, pues la densidad aparente rebasa los 1,25 kg/m³ (Martín & Duran, 2011). La compactación afecta de manera negativa la penetración de las raíces, el intercambio gaseoso, la infiltración y retención del agua; y como consecuencia, la actividad microbiana, la absorción de nutrientes y los procesos de mineralización (Six *et al.*, 2004; Morell & Hernández, 2008; Obour *et al.*, 2017).

Dicha compactación se encuentra condicionada por la historia de uso y manejo del suelo, lo que hace de la densidad aparente un indicador muy dinámico del deterioro físico Shafiq *et al.* (1994; Totsche *et al.* (2017); Al-Shammary *et al.* (2018), con sensibilidad para estimaciones a corto plazo, al ser acompañado de otros indicadores de tipo físico y biológico (Doran, 1994).

Composición mecánica y materia orgánica

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2:

TABLE 1. Macromorphological description of the sample points
TABLA 1. Descripción macromorfológica de los puntos muestrales

Sampling point	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2
Genetic Classification (IS, 1999).	Ferralitic Yellowish Leached Soil	Ferralitic Yellowish Leached Soil	Leaching Red Ferralitic Soil	Ferralitic Yellowish Leached Soil	Leaching Red Ferralitic Soil.
Layer 1					
Depth	0 – 21 cm	0 – 19 cm	0 – 20 cm	0 – 20 cm	0 – 20 cm
Colour	5YR 4/6 (dry) 7.5 YR 3/4 (damp)	5 YR 5/8 (dry) 5 YR 4/6 (damp)	2.5 YR 4/4 (dry) 2.5YR 2.5/3 (damp)	2.5 YR 4/6 (dry) 2.5 YR 3/6 (damp)	10 R 3/4 (dry) 10 R 3/6 (damp)
Texture	Clay loam	Clay loam	Clay loam	Clayey	Clayey
Structure	Granular, coarse.	Granular, medium.	Granular, coarse.	Granular, medium.	Granular, coarse.
Other features	Accentuated hydromorphy at 17 cm.	Does not present	Shot. Rock fragments (≈ 1% - 2%).	Does not present	Does not present
Layer 2					
Depth	22 – 50 cm	20 – 50 cm	21 – 50 cm	21 – 33 cm	20 – 40 cm

Sampling point	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2
Colour	7.5 YR 5/8 (dry) 7.5 YR 4/6 (damp)	5 YR 4/6 (dry) 7.5 YR 4/4 (damp)	10 YR 4/6 (dry) 10 YR 3/3 (damp)	2.5 YR 4/6 (seco) (dry) 2.5 YR 3/6 (damp)	10 R 3/(dry) 10 R 3/4 (damp)
Texture	Clayey	Clay loam	Clay loam	Clayey	Clayey
Structure	Granular, coarse.	Granular, coarse.	Granular, coarse.	Granular, coarse.	Granular, coarse.
Other features	Compacted layer (plow layer) at 24 cm. Accentuated hydromorphy (yellow, orange and gray speckles, ≈ 10%). Presence of manganese and iron.	Does not present	Diffuse limit. Mottled (≈ 10%) grayish brown. Rock fragments (≈ 1% - 2%) of the total mass.	Mottled with small lighter spots (≈ 10%). Compacted layer (plow layer) developed. Small clods, evidence of redox processes.	Mottled. Compacted layer (plow layer) at 20 cm. Black small clods, ≈5% of the mass. Sliding faces. (“Slickensides”)

TABLE 2. Particle size distribution and percentage of organic matter
TABLA 2. Distribución de tamaño de partículas y porcentaje de materia orgánica

Sampling point	Depth. (cm)	% MOS	< 2mm (%Clays)	0,002 a 0,01 mm (%Fine slime)	0,01 a 0,02 mm (%Thick slime)	0,02 a 0,2 mm (%Fine sand)	0,2 a 2 mm (%Gross sand)
1.1.1	0-21	1,73	62,87	7,54	4,17	13,29	1,73
1.1.2	22-50	1,09	74,82	7,16	8,16	6,45	1,09
1.2.1	0-19	2,12	64,93	9,43	6,51	9,26	2,12
1.2.2	20-50	1,27	73,25	8,53	8,65	7,32	1,27
1.3.1	0-20	2,36	63,77	12,43	10,52	7,45	2,36
1.3.2	21-50	1,32	74,82	6,43	9,71	8,12	1,32
2.1.1	0-20	2,05	64,56	13,03	10,99	6,84	2,05
2.1.2	21-33	1,58	79,82	5,98	4,10	8,43	1,58
2.2.1	0-20	1,75	65,93	10,85	6,96	7,65	1,75
2.2.2	20-40	1,26	78,06	8,67	4,02	8,11	1,26

At all points there was agreement of the analytical results with those from the field observation (Table 1) in relation to the texture and there was a higher content of the percentage of clay particles (less than 0.002 mm) in layers 2; phenomenon attributable to the movement of soil particles through the profile as a consequence of the destruction of the structure in the upper layers (Hernandez *et al.*, 2013).

There is also evidence of a marked predominance of small particles (between 0.002 to 0.01 mm) in the composition of the soil, a condition that provides low structural stability and a high susceptibility to separation from the impact of raindrops due to the less energy than these particle sizes require to separate from the aggregates (Lobo, 1990).

On the other hand, the organic matter of the soil presents low values, coinciding with other authors in the same type of soil (Hernández *et al.*, 2006; Hernandez *et al.*, 2013) and tends to be lower in the eroded parts and higher in the deposition area, due to the effect of the slope.

Porosity

The results obtained for the evaluation of porosity (total, capillary and of aeration) are shown in Figure 2:

En todos los puntos existió coincidencia de los resultados analíticos con los provenientes de la observación en campo (Tabla 1) en relación a la textura, y un mayor contenido del porcentaje de partículas de arcillas (menores a 0,002 mm) en las capas 2; fenómeno atribuible al movimiento de partículas de suelo por el perfil como consecuencia de la destrucción de la estructura en las capas superiores (Hernandez *et al.*, 2013).

Se evidencia también, un marcado predominio de las partículas pequeñas (entre 0,002 a 0,01 mm) en la composición del suelo, condición que otorga baja estabilidad estructural y una alta susceptibilidad a la separación frente al impacto de las gotas de lluvia debido a la menor cantidad de energía que estos tamaños de partículas requieren para separarse de los agregados (Lobo, 1990).

Por su parte, la materia orgánica del suelo presenta valores bajos, coincidentes con otros autores en el mismo tipo de suelo (Hernández *et al.*, 2006; Hernandez *et al.*, 2013) y tiende a ser menor en las partes erosionadas y mayor en la zona de deposición, debido al efecto de la pendiente.

Porosidad

Los resultados obtenidos para la evaluación de porosidad (total, capilar y de aireación) se muestran en la Figura 2:

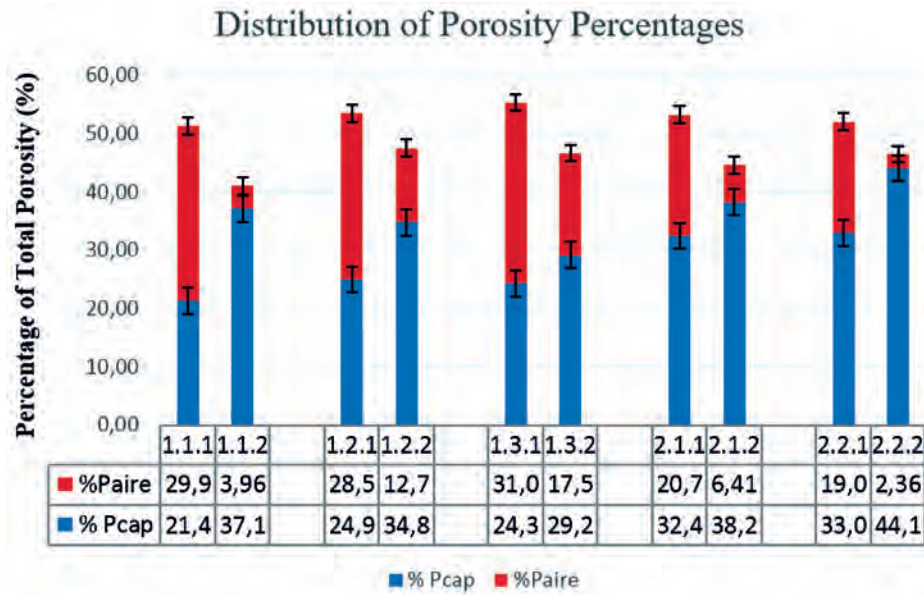


FIGURE 2. Distribution of Porosity Percentages.
FIGURA 2. Distribución de Porcentajes de Porosidad.

The percentage of total porosity is close to 50%, a value considered ideal (Martín & Duran, 2011), with an equitable distribution of capillary and aeration pores in almost all points of the upper layers, except points 1.1.2, 2.1.2 and 2.2.2, where the total porosity was found around 10% below this value. As it can be seen, these points correspond to the compacted layers, with “plow layers”.

In most of the points there is also a predominance of the percentage of capillary pores over the aeration pores, a characteristic condition of clay textures. This effect is more accentuated in layer 2 samples and increases the moisture retention capacity of the soil; however, it can also affect the water / air balance and the movement of O_2 and CO_2 , increasing the areas with anaerobic conditions. This generates a reduction in denitrification, loss of nutrients in the roots and changes in the metabolism of plants, causing adverse effects on the crop (Bünemann *et al.*, 2018). In the compacted layers (1.1.2, 2.1.1, 2.2.2), in addition, percentages of aeration pores less than 10% were found, a value considered minimum according to (Hillel, 1994; 2003; 2013), quantitatively showing the structural limitations identified qualitatively in observation of the ground.

Aggregation

Distribution of Aggregate Sizes and their Stability

The determination of particle sizes was carried out using dry and wet sieving, obtaining the results shown in Figure 3.

In general, the percentage of aggregation is close to 40%, resulting lower in the sampling points of transect 2, and in the lower layers of each sampling point. The formation and stability of the aggregates depend both on pedological factors, such as the predominance of clay particles, which limit the spaces in the soil structure and

El porcentaje de porosidad total se aproxima al 50%, valor considerado ideal (Martín & Duran, 2011), con una distribución equitativa de poros capilares y de aireación en casi todos los puntos de las capas superiores, excepto los puntos 1.1.2, 2.1.2 y 2.2.2, donde la porosidad total se encontró alrededor del 10% por debajo de este valor. Como hemos visto, estos puntos corresponden a las capas compactadas, con “pisos de arado”.

En la mayoría de los puntos existe también predominio del porcentaje de poros capilares sobre los poros de aireación, condición característica de las texturas arcillosas. Este efecto es más acentuado en las muestras de la capa 2 y aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo; sin embargo también puede afectar el equilibrio agua/aire y el movimiento de O_2 y CO_2 , incrementando las áreas con condiciones anaeróbicas. Ello genera reducción en la desnitrificación, pérdida de nutrientes en las raíces y cambios en el metabolismo de las plantas, causando efectos adversos al cultivo (Bünemann *et al.*, 2018). En las capas compactadas (1.1.2, 2.1.1, 2.2.2) además, se encontraron porcentajes de poros de aireación menores al 10%, valor considerado mínimo según (Hillel, 1994; 2003; 2013), evidenciándose cuantitativamente las limitaciones estructurales identificadas de manera cualitativa en la observación del suelo.

Agregación

Distribución de los Tamaños de Agregados y su Estabilidad

Se realizó la determinación de tamaños de partículas empleando tamizado en seco y en húmedo, obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 3.

En general, el porcentaje de agregación se aproxima al 40%, resultando menor en los puntos de muestreo de la transecta 2, y en las capas inferiores de cada punto muestral. La formación y estabilidad de los agregados depende tanto de factores pedológicos, como el predominio de partículas de arcillas, que limitan los espacios en la estructura del suelo y la existencia

the existence of microaggregates over macroaggregates. It also depends on anthropic factors such as tillage, which repeatedly exposes the organic fractions of the soil related to macroaggregates to aeration and oxidation, causing their decrease (Shepherd *et al.*, 2001).

de microagregados sobre los macroagregados; como de factores antrópicos como la labranza, la cual expone de manera repetida las fracciones orgánicas del suelo relacionadas con los macroagregados a la aereación y la oxidación, provocando su disminución (Shepherd *et al.*, 2001).

Aggregate Size Distribution and Stability Index.

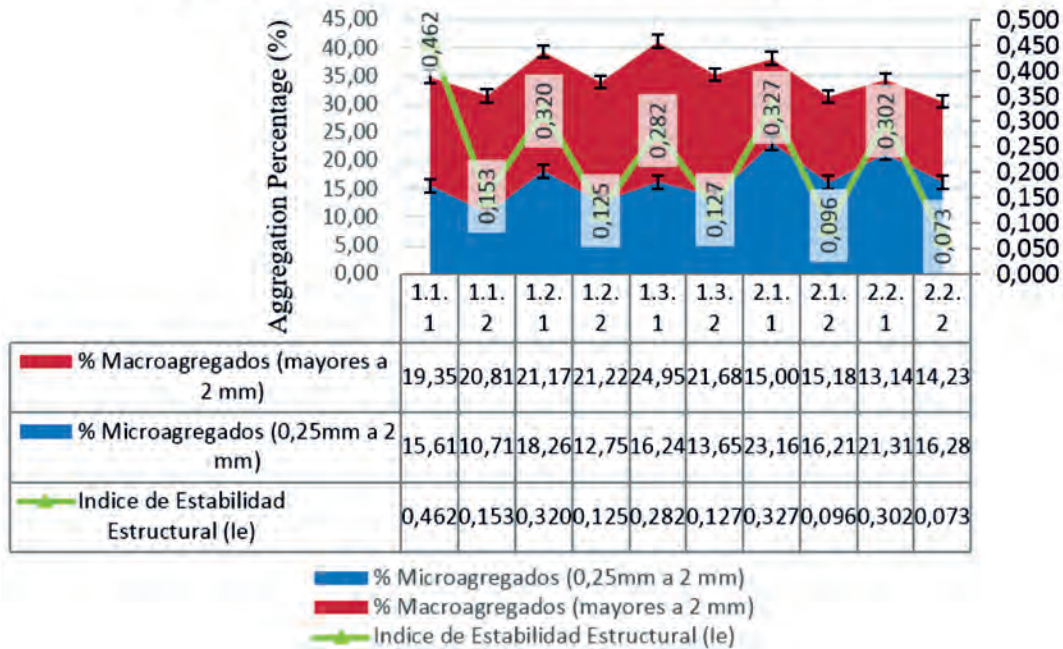


FIGURA 3. Aggregate size distribution and stability index.
 FIGURA 3. Distribución de los Tamaños de Agregados y su Estabilidad.

For its part, the structural stability index (Ie), based on the ratio of stable aggregates in water / total aggregates, allows us to summarize the interaction of the aforementioned factors Menon *et al.* (2020), quantifying the resistance to change (maintenance of the structure) of the aggregates in response to the application of mechanical stress (Diaz *et al.*, 2002). In general, greater stability was found in the upper layers and poor stability in the points with the presence of compacted layers.

Por su parte, el índice de estabilidad estructural (Ie), basado en la relación agregados estables en agua/ agregados totales permite resumir la interacción de los factores señalados Menon *et al.* (2020), cuantificando la resistencia al cambio (mantenimiento de la estructura) de los agregados en respuesta a la aplicación de estrés mecánico (Diaz *et al.*, 2002). En general, se encontró una mayor estabilidad en las capas superiores y una escasa estabilidad en los puntos con presencia de capas compactadas.

Relationship of Aggregation with Soil Organic Matter

In order to explore the possible relationships between % SOM and some evaluated physical indicators, the correlations shown in the graphs of Figures 4, 5 and 6 were calculated.

Figures 4, 5 and 6 show the correlations found between the OM percentage and apparent density, the total aggregation percentage and structural stability, finding R² values greater than 0.6 in the three cases, which coincides with Shepherd *et al.* (2001); Pulido *et al.* (2009); Hernandez *et al.*, (2013). Such results highlight the need to quantify the amount and type of OM when evaluating the structural state of the soil. In general, SOM promotes the stability of aggregates by reducing the swelling and permeability of the aggregate, reducing the destructive forces of the burst phenomenon, and increasing their intrinsic strength Fortun & Fortun (1989), since they link

Relación de la Agregación con la Materia Orgánica del Suelo

A fin de explorar las posibles relaciones entre el %MOS y algunos indicadores físicos evaluados, se calcularon las correlaciones mostradas en los gráficos de las Figuras 4, 5 y 6.

En las Figuras 4, 5 y 6 se muestran las correlaciones encontradas entre el porcentaje de MO y la densidad aparente, el porcentaje de agregación total y la estabilidad estructural, encontrándose valores de R² mayores a 0,6 en los tres casos, coincidiendo con Shepherd *et al.* (2001); Pulido *et al.* (2009); Hernandez *et al.*, (2013). Tales resultados destacan la necesidad de cuantificar la cantidad y tipo de la MO al evaluar el estado estructural del suelo. En general, la MOS promueve la estabilidad de los agregados porque reduce el hinchamiento y la permeabilidad del agregado, reduce las fuerzas destructivas del fenómeno de estallido y aumenta la fuerza intrínseca de los mismos Fortun & Fortun (1989), puesto que enlazan física

physics and chemically the primary particles in the aggregates (Lado *et al.*, 2004).

There is a bidirectional relationship between SOM and aggregation: the effectiveness of SOM in forming stable aggregates is related to its decomposition rate, which in turn, depends on its physical and chemical protection and microbial action (Blanco y Lal, 2004; Pulido *et al.*, 2009) and in turn, the stability of the macroaggregates constitutes a crucial factor in the stabilization of OM in the long term (Six *et al.*, 2004).

Bernal & Hernández (2017) point out that the mineralization and loss of organic matter (OM) is a preponderant factor in the decrease of the aggregation of the Ferralitic soils studied. According to Six *et al.* (2004) this effect is evidenced with greater emphasis on the loss of macroaggregates, as has been observed, since their formation is due to the presence of organic matter (OM) recently contributed, with less stability than that of microaggregates.; whose cementing agent corresponds to OM that is more humified, and therefore more resistant to degradation. Bernal & Hernández (2017) highlight that in Ferralitic soils, iron, clays and OM interactions influence on the formation of microaggregates and their stability.

y químicamente las partículas primarias en los agregados (Lado *et al.*, 2004).

Existe una relación bidireccional entre la MOS y la agregación: la efectividad de la MOS en formar agregados estables está relacionada con su tasa de descomposición, la cual a su vez depende de su protección física y química y la acción microbiana (Blanco y Lal, 2004; Pulido *et al.*, 2009) y a su vez, la estabilidad de los macroagregados constituye un factor crucial en la estabilización de la MO a largo plazo (Six *et al.*, 2004).

Bernal & Hernández (2017) señalan que la mineralización y pérdida de la materia orgánica (MO) resulta un factor preponderante en la disminución de la agregación de los suelos Ferralíticos estudiados. Según Six *et al.* (2004) éste efecto se evidencia con mayor énfasis en la pérdida de macroagregados, tal como se ha observado, puesto que la formación de éstos se debe a la presencia de materia orgánica (MO) recién aportada, de menor estabilidad a la de los microagregados; cuyo agente cementante corresponde a MO más humificada, y por tanto más resistente a la degradación. Bernal & Hernández (2017) destacan que en los suelos Ferralíticos, la interacción de hierro, arcillas y MO inciden en la formación de microagregados y su estabilidad.

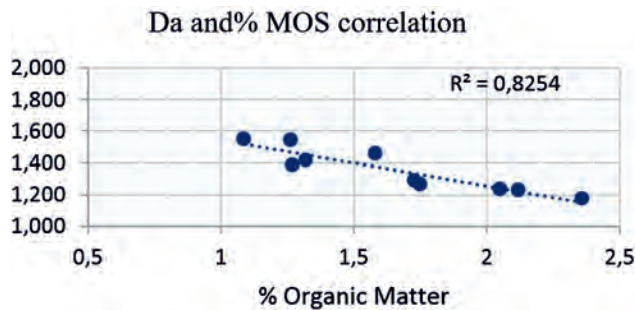


FIGURE 4. Correlation between apparent density and organic matter.
FIGURA 4. Correlación entre densidad aparente y materia orgánica.

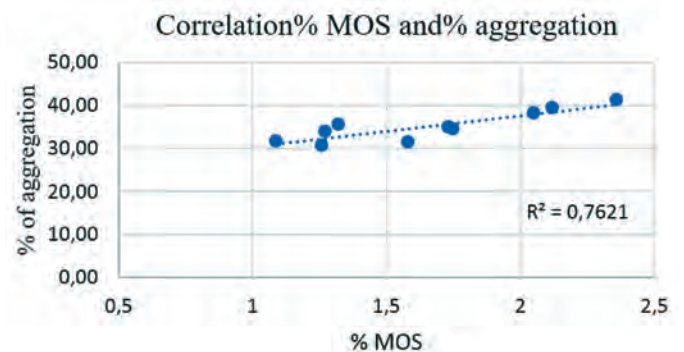


FIGURE 5. Correlation between percentage of organic matter and percentage of aggregation.
FIGURA 5. Correlación entre porcentaje de materia orgánica y porcentaje de agregación.

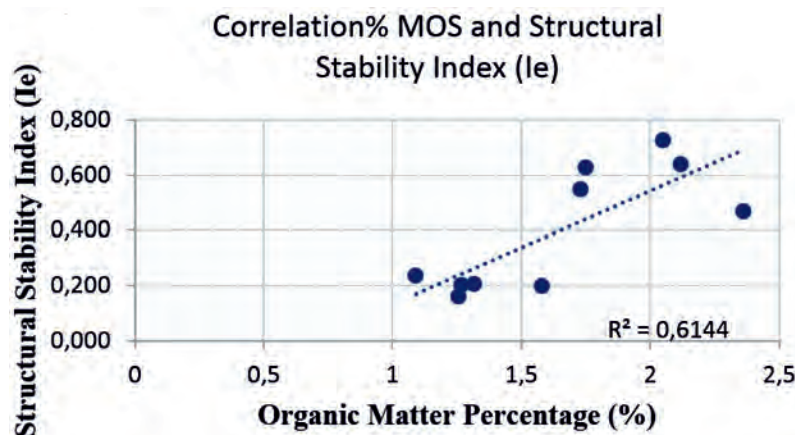


FIGURE 6. Correlation between percentage of organic matter and the structural stability index.
FIGURA 6. Correlación entre porcentaje de materia orgánica y el índice de estabilidad estructural.

Soil Conservation Plan for the Soils of “El Mamey” Farm

According to Hernandez *et al.* (2013) since the beginning of the 19th century, the need to restore the fertility of red Ferralitic

Plan de conservación de suelo para los suelos de la Finca “El Mamey”

De acuerdo a Hernandez *et al.* (2013) desde principios del siglo XIX, se ha planteado la necesidad de restaurar la fertilidad

soils has been raised due to the intensity of exploitation since colonial times. Hernández *et al.* (2006); Morell *et al.* (2006) and Hernandez *et al.* (2013) have found results that show changes in the properties of these soils as a consequence of their agricultural use, a phenomenon that has been described as agrogenic evolution (Lebedeva *et al.*, 2005).

Conventional intensive agricultural exploitation is characterized by numerous tillage tasks, which result in the oxidation of organic matter in the soil, with the consequent breakdown of aggregates and loss of structure Cooper *et al.* (2005), evident both in the observation of the microcalicatas as in the analytical results. Both phenomena lead to compaction, evident in the increase in the value of the apparent density and the decrease in the porous spaces obtained.

From these, five signs of physical degradation and the affected soil “functions” were identified, from which seven conservation measures are proposed, divided into two stages, in order to recover the physical condition of the soil, improve its fertility and increase the sustainability of agricultural activity (Figure 7).

de los suelos Ferralíticos rojos debido a la intensidad de la explotación desde la época colonial. Hernández *et al.* (2006); Morell *et al.* (2006) y Hernandez *et al.* (2013) han encontrado resultados que evidencian cambios en las propiedades de estos suelos como consecuencia de su uso agrícola, fenómeno que ha sido descrito como evolución agrogénica (Lebedeva *et al.*, 2005).

La explotación agrícola intensiva convencional se caracteriza por numerosas labores de labranza, que traen como consecuencia la oxidación de la materia orgánica del suelo, con la consiguiente ruptura de agregados y pérdida de estructura Cooper *et al.* (2005), evidente tanto en la observación de las microcalicatas como en los resultados analíticos. Ambos fenómenos conllevan a la compactación, evidente en el aumento del valor de la densidad aparente y la disminución de los espacios porosos obtenidos.

A partir de los mismos se identificaron cinco signos de degradación física y las “funciones” del suelo afectadas, a partir de las cuales se proponen siete medidas de conservación, divididas en dos etapas, con la finalidad de recuperar la condición física del suelo, mejorar su fertilidad e incrementar la sostenibilidad de la actividad agrícola (Figura 7).

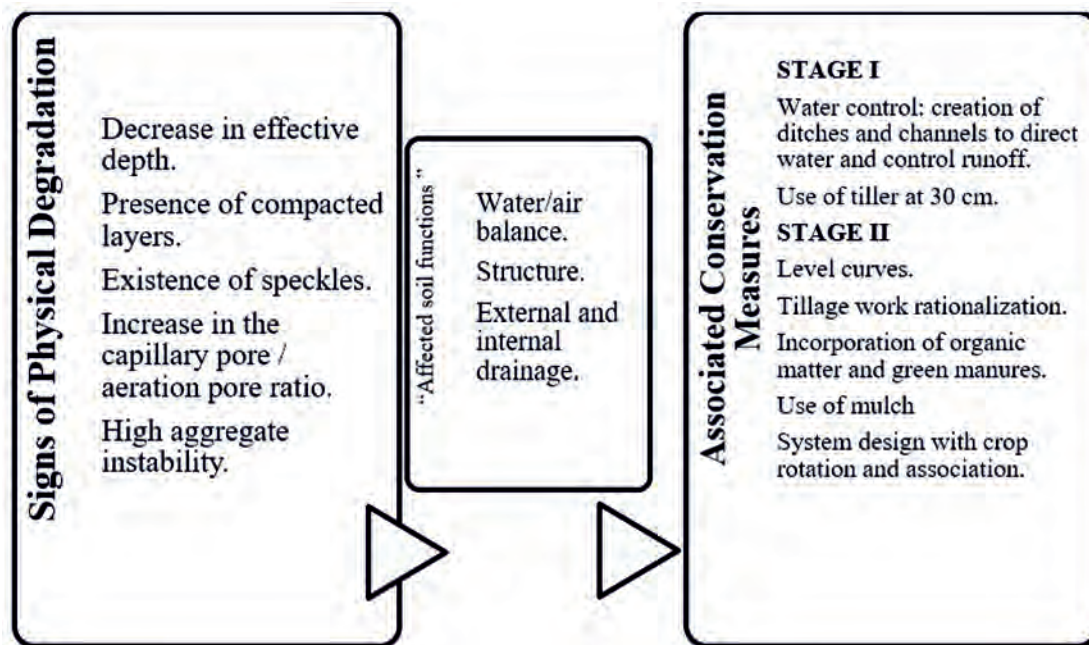


FIGURE 7. Conservation Plan for the “El Mamey” Farm, designed to restore the affected soil functions, according to the analysis of the values obtained in the field observation and the physical indicators.

FIGURA 7. Plan de Conservación para la Finca “El Mamey”, diseñado en función de restaurar las funciones del suelo afectadas, de acuerdo al análisis de los valores obtenidos en la observación de campo y los indicadores físicos.

CONCLUSIONS

- From the work carried out, the usefulness of field methods (direct observation) in conjunction with analytical procedures in the study of soil structure was evidenced. The preeminence of compaction was observed as the main degrading factor of the soil, emphasizing the processes of agrogenic origin, as well as the relationship of the percentage of soil organic matter (OM) with structural stability. Relationships between the evidence of soil deterioration, the affected functions and the associated conservation measure (s) were also presented.

CONCLUSIONES

- A partir del trabajo realizado se evidenció la utilidad de los métodos de campo (observación directa) en conjunto con los procedimientos analíticos en el estudio de la estructura del suelo. Se observó la preeminencia de la compactación como el principal factor degradante del suelo, enfatizando los procesos de origen agrogénico, así como la relación del porcentaje de materia orgánica del suelo (MO) con la estabilidad estructural. Se presentaron además relaciones entre las evidencias de deterioro del suelo, las funciones afectadas y la(s) medida(s) de conservación asociadas.

REFERENCES

- AL-SHAMMARY, A.A.G.; KOUZANI, A.Z.; AKIF K; KHOO, S.Y.; NORTON, M.: "Soil bulk density estimation methods: a review", *Pedosphere*, ISSN-1002-0160, 28(4): 581-596, 2018.
- ASTIER, C.M.; MAASS, M.M.; ETCHEVERS, B.J.: "Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable", *Agrociencia*, ISSN-2521-9766, 36(5): 605-620, 2002.
- BERNAL, F.A.; HERNÁNDEZ, J.A.: "Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura", *Cultivos Tropicales*, ISSN-0258-5936, e-ISSN: 1819-4087, 38(4): 50-57, 2017.
- BLANCO, C.H.; LAL, R.: "Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates", *Critical reviews in plant sciences*, ISSN-0735-2689, 23(6): 481-504, 2004.
- BÜNEMANN, E.K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R.E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T.W.; MÄDER, P.: "Soil quality—A critical review", *Soil Biology and Biochemistry*, ISSN-0038-0717, 120: 105-125, 2018.
- COOPER, M.; VIDAL, T.P.; CHAPLOT, V.: "Origin of microaggregates in soils with ferralic horizons", *Sci Agric*, ISSN-1678-992X, 62: 256-263, 2005.
- DIAZ, Z.M.; GROVE, J.H.; PERFECT, E.: *Aggregation, fragmentation and structural stability measurement*, Ed. Marcel Dekker, Encyclopedia of Soil Science ed., ISBN-0-8247-0634-X, 2002.
- DORAN, J.W.: *Defining soil quality for sustainable environment*, Ed. Wisconsin, US: Soil Science Society of America, ISBN-0-89118-807-X, USA, 1994.
- FAN, R.; DU, J.; LIANG, A.; LOU, J.; LI, J.: "Carbon sequestration in aggregates from native and cultivated soils as affected by soil stoichiometry", *Biology and Fertility of Soils*, ISSN-1432-0789, 56(8): 1109-1120, 2020.
- FORTUN, C.; FORTUN, A.: "Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo", En: *Anales de edafología y agrobiología*, ISBN-0365-1797, pp. 185-204, 1989.
- GARCÍA, Y.; RAMÍREZ, W.; SÁNCHEZ, S.: "Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso", *Pastos y forrajes*, ISSN-0864-0394, 35(2): 125-138, 2012.
- HERNÁNDEZ, A.; MORELL, F.; MORALES, M.; BORGES, Y.; ASCANIO, O.: "Cambios globales en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ferrálicos, ródicos, éutricos) de Cuba", *Cultivos Tropicales*, ISSN-0258-5936, e-ISSN: 1819-4087, (2): 41-50, 2006.
- HERNANDEZ, J.A.; MORALES, D.M.; CABRERA, R.A.; ASCANIO, G.M.; BORGES, B.Y.; VARGAS, B.D.; BERNAL, F.A.: "Degradación de los suelos ferralíticos rojos lixiviados y sus indicadores de la llanura roja de La Habana", *Cultivos Tropicales*, ISSN-0258-5936, e-ISSN: 1819-4087, 34(3): 45-51, 2013.
- HILLEL, D.: *Introduction to Environmental Soil Physics*, Ed. Elsevier Academic Press, pp. 385, ISBN-978-0-12-348655-4, Amsterdam, 1994.
- HILLEL, D.: *Introduction to environmental soil physics*, Ed. Elsevier Academic Press, ISBN-0-08-049577-X, Amsterdam, 2003.
- HILLEL, D.: *Introduction to soil physics*, Ed. Elsevier Academic Press, ISBN-0-08-091869-7, Amsterdam, 2013.
- INSTITUTO DE SUELOS: *Nueva versión de la Clasificación genética de los Suelos de Cuba*, Ed. Ministerio de la Agricultura, pp. 64, ISBN-978-959-246-022-5, La Habana, Cuba, 1999.
- ISO 11272: 2017: *Soil quality - Determination of dry bulk density*, International Standard Organization, La Habana, Cuba, 2017.
- KAY, B.D.; ANGERS, D.A.: *Soil Structure*, Ed. CRC Press, Sumner M: Handbook of Soil Science ed., ISBN-978-0-8493-3136-7, Boca Raton, USA, 2000.
- KEMPER, W.; ROSENAU, R.: *Aggregate stability and size distribution*, Ed. Soil Science Society of America, Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods ed., vol. 5, ISBN-978-0-89118-864-3, USA, 1986.
- KRAVCHENKO, A.; NEGASSA, W.; GUBER, A.; RIVERS, M.: "Protection of soil carbon within macro-aggregates depends on intra-aggregate pore characteristics, *Sci. Rep.*, 5, 16261", *Nature Scientific Reports*, ISSN-2045-2322, (5), 2015.
- LADO, M.; BEN-HUR, M.; SHAINBERG, I.: "Soil wetting and texture effects on aggregate stability, seal formation, and erosion", *Soil Science Society of America Journal*, ISSN-0361-5995, 68(6): 1992-1999, 2004.
- LAL, R.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A.; KIMBLE, J.M.: "Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security", *Soil science*, ISSN-0038-075X, 172(12): 943-956, 2007.
- LEBEDEVA, I.; TONKONOGOV, V.; GERASIMOVA, M.: "Anthropogenic pedogenesis and the new classification system of Russian soils", *Eurasian Soil Sci*, ISSN-1064-2293, 38(10): 1026-1031, 2005.
- LEHMANN, A.; RILLIG, M.: "Understanding mechanisms of soil biota involvement in soil aggregation: A way forward with saprobic fungi?", *Soil Biology and Biochemistry*, ISSN-0038-0717, 1879-3428, 88: 298-302, 2015.
- LOBO, D.; PULIDO, M.: "Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos", *Venesuelos*, ISSN-1315-0359, 14(1): 22-37, 2011.
- LOBO, L.D.: "Perdidas de agua, suelo y nutrimentos en un alfisol de Chaguaramas, estado Guarico, bajo coberturas diferentes.", *Agronomía Tropical (Venezuela). Serie Edafológica.(Ene-Jun)*, ISSN-0002-192X, 40(1-3): 79-89, 1990.
- MARTÍN, N.J.; DURAN, A.J.L.: *El suelo y su fertilidad*, Ed. Félix Varela, ISBN-978-959-07-1418-4, La Habana, Cuba, 2011.
- MENON, M.; MAWODZA, T.; RABBANI, A.; BLAUD, A.; LAIR, G.J.; BABAEI, M.; KERCHEVA, M.; ROUSSEVA, S.; BANWART, S.:

- "Pore system characteristics of soil aggregates and their relevance to aggregate stability", *Geoderma*, ISSN-0016-7061, 1872-6259, 366: 114-259, 2020.
- MORELL, F.; HERNÁNDEZ, A.; FERNÁNDEZ, F.; TOLEDO, Y.: "Caracterización agrobiológica de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la región de San José de las Lajas, en relación con el cambio en el manejo agrícola", *Cultivos Tropicales*, ISSN-0258-5936, e-ISSN: 1819-4087, 27(4): 13-18, 2006.
- MORELL, P.F.; HERNÁNDEZ, J.A.: "Degradación de las propiedades agrobiológicas de los suelos Ferralíticos rojos lixiviados por la influencia antrópica y su respuesta agroproductiva al mejoramiento", *Agronomía Tropical*, ISSN-0002-192X, 58(4): 33-343, 2008.
- NC: 51: 1999: *Calidad del suelo-Análisis Químico-Determinación del Porcentaje de Materia Orgánica*, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 1999.
- NC: 110: 2010: *Calidad del suelo. Determinación de la humedad*, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2010.
- NC 1044: 2014: *Calidad del Suelo. Determinación de la estabilidad estructural*, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2014.
- NC: 1045: 2014: *Calidad del Suelo. Determinación de la porosidad*, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2014.
- OADES, J.M.: "Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management", *Plant and soil*, ISSN-1573-5036, 76(1): 319-337, 1984.
- OBOUR, P.B.; SCHJØNNING, P.; ALONSO, Y.; MUNKHOLM, L.: "Subsoil compaction assessed by visual evaluation and laboratory methods", *Soil and Tillage Research*, ISSN-0167-1987, 173: 4-14, 2017.
- ORELLANA, J.A. de: "La estructura en suelos de tierra fina.", *Revista FAVE. Sección Ciencias Agrarias*, ISSN-1666-7719., 8(2), 2009.
- OVALLES, F.: "El Color del Suelo: definiciones e interpretación", *Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela, CENIAP Hoy*, ISSN-1690-4117.: 12-21, 2003.
- PIERI, C.: "Long-term soil management experiments in semiarid Francophone Africa", *Advances in Soil Science*, ISSN-0176-9340, 225-264, 1995.
- PLANTE, A.; ALONSO, Y.; MCGILL, W.: "A modeling approach to quantifying soil macroaggregate dynamics", *Canadian Journal of Soil Science*, ISSN-0008-4271, 1918-1841, 82(2): 181-190, 2002.
- PULIDO, M.M.A.; LOBO, L.D.; LOZANO, P.Z.: "Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela", *Agrociencia*, ISSN-1405-3195, 43(3): 221-230, 2009.
- SHAFIQ, M.; HASSAN, A.; AHMAD, S.: "Soil physical properties as influenced by induced compaction under laboratory and field conditions", *Soil and Tillage Research*, ISSN-0167-1987, 29(1): 13-22, 1994.
- SHEPHERD, T.; SAGGAR, S.; NEWMAN, R.; ROSS, C.; DANDO, J.: "Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils", *Australian Journal of Soil Research*, ISSN-1838-6768, 0004-9573, 39(3): 465-489, 2001.
- SIMPSON, R.T.; FREY, S.D.; ABU, J.B.; THIET, R.K.: "Preferential accumulation of microbial carbon in aggregate structures of no-tillage soils", *Soil Science Society of America Journal*, ISSN-0361-5995, 68(4): 1249-1255, 2004.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K.: "A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics", *Soil and Tillage Research*, ISSN-0167-1987, 79(1): 7-31, 2004.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M.: "Organic matter and water-stable aggregates in soils", *Journal of soil science*, ISSN-0022-4588, 33(2): 141-163, 1982.
- TOTSCHKE, K.; AMELUNG, W.; GERZABEK, M.; GUGGENBERGER, G.; KLUMPP, E.; KNIEF, C.; LEHNDORFF, E.; MIKUTTA, R.; PETH, S.; PRECHTEL, A.; RAY, N.; KO'GEL, K.I.: "Microaggregates in soils", *J. Plant Nutr. Soil Sci*, ISSN-1522-2624, 1-33, 2017.

Sol Santander-Mendoza, Investigadora, Lic. en Biología. MSc. En Agroecología. Esp. Recuperación de Suelos, *Instituto de Suelos. Boyeros, La Habana, Cuba*, e-mail: sol.santander@isuelos.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8614-1247>

Maria del Carmen Falcón-Acosta, Profesora, Ing. Agrónoma. MSc. Ciencias del Suelo, Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: mfalcon@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5703-6632>

Maylin Suárez-Santana, profesora, Ing. Agrónoma, Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: msuarez@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0058-116X>

José Luis Durán-Alvarez, Profesor Consultante, Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: duan@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6251-8348>

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.