

Caracterización del estado estructural en suelos de composición ferralítica en cultivos semiprotegidos en la finca "Roma"

Characterization of the Structural State of Ferralitic Soils in Semi-Protected Crops on the "Roma" Farm

✉ María del Carmen Falcón-Acosta^{1*}, ✉ Gerardo Sergio Benedicto-Valdes²,
✉ Heriberto Vargas-Rodríguez¹ and ✉ Shakira García-Hernández¹

¹Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: mfalconbg@gmail.com, vargas@unah.edu.cu y shgarciahdez@gmail.com
²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. E-mail: bsergio@colpos.mx

*Autor para correspondencia: mfalconbg@gmail.com

RESUMEN: La estructura del suelo se define como la capacidad que tiene la masa de suelo de disgregarse por sí misma en separaciones de distintas formas y tamaños, la cual se puede evaluar mediante la estabilidad de los agregados. El siguiente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el impacto del estado estructural en suelos de composición Ferralítica en la finca Roma, municipio San Nicolás de Bari, Provincia Mayabeque. La estabilidad de la estructura determina el estado de degradación de los suelos y es un parámetro importante de la calidad de los mismos, que resume tanto los efectos negativos como los positivos en los sistemas de manejos agrícolas. Además, está muy estrechamente relacionada la formación de microagregados, sobre todo en suelos Ferralíticos. Las muestras fueron tomadas a diferentes profundidades. Se analizaron horizontes del perfil del suelo en condiciones secas y húmedas midiendo el coeficiente de estabilidad estructural y la distribución de agregados. Se evidenció que los valores reflejados para el coeficiente de estabilidad en seco en los horizontes superiores del perfil, mostró una buena distribución de agregados, los que presentaban porcentajes altos de entre los rangos de 0,25 a 10 mm de diámetro manifestándose la presencia de estructura del tipo granular en superficie y con abundantes bloques subangulares medianos hacia abajo. Sin embargo, de 45 a 90 cm de profundidad en el perfil se afecta dicha distribución, ya que se comienzan a formar agregados de tamaños superiores del tipo de bloques prismáticos principalmente.

Palabras clave: recurso natural, estructura, degradación, propiedades físicas.

ABSTRACT: The soil structure is defined as the ability of the soil mass to disaggregate by itself into separations of different shapes and sizes, which can be evaluated through the stability of the aggregates. The following work was carried out with the aim of evaluating the impact of structural state in Ferralitic soils on the Roma farm, San Nicolás de Bari municipality, Mayabeque Province. The stability of the structure determines the degradation state of the soils and is an important parameter of their quality, summarizing both the negative and positive effects on agricultural management systems. Furthermore, it is very closely related to the formation of microaggregates, especially in Ferralitic soils. Samples were taken at different depths. Soil profile horizons were analyzed under dry and wet conditions by measuring the structural stability coefficient and the distribution of aggregates. It was evidenced that the values reflected for the dry stability coefficient in the upper horizons of the profile showed a good distribution of aggregates, which had high percentages in the ranges of 0.25 to 10 mm in diameter, indicating the presence of granular structure on the surface and abundant medium subangular blocks deeper down. However, from 45 to 90 cm deep in the profile, this distribution is affected, as larger aggregates of the mainly prismatic block type begin to form.

Keywords: Natural Resource, Structure, Degradation, Physical Properties.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable y su regeneración es muy lenta, siendo sometido constantemente a los procesos de destrucción y degradación. Es un elemento fundamental para la agricultura por proveer de agua y nutrientes a los cultivos; además, interviene en los ciclos del agua, carbono, nitrógeno, fósforo y otros elementos de interés (Ferrerías et al., 2015).

Según Weii (2000), citado por Chavarría (2009), el suelo constituye la esencia del estudio de la edafología. Se le considera al suelo como un ser natural estructurado, que se encuentra en constante cambio y que para su formación y evolución depende de factores bióticos como abióticos. Entre estos factores está el clima, organismos, el relieve y el tiempo; todos ellos actuando sobre el material parental, la roca madre.

Recibido: 12/12/2024

Aceptado: 02/06/2025

Conflicto de intereses: Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Contribuciones de autores: Conceptualización: M. C. Falcón. Curación de datos: M. C. Falcón. Análisis formal: M. C. Falcón. Captación de fondos, Investigación: M. C. Falcón, G. Benedicto, H. Vargas, Sh. García. Metodología: M. C. Falcón, Administración de proyecto, Recursos, Software, Supervisión: M. C. Falcón, Validación: M. C. Falcón, Visualización, Redacción, Borrador original: M. C. Falcón. Redacción-revisión y edición: M. C. Falcón.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



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/>



Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, presentan características propias en condiciones naturales; sin embargo, estas características cambian bruscamente con la acción antropogénica en un periodo corto de tiempo, dando lugar a los Cambios Globales en los Suelos (CGS), debido principalmente a la destrucción de microagregados por la mineralización y pérdida de la materia orgánica (Hernández et al., 2019).

Las propiedades físicas de un suelo tienen mucho que ver con la capacidad que el hombre les da para muchos usos. Las características físicas de un suelo en condiciones húmedas y secas para las edificaciones, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la retención de nutrientes de las plantas, etc. están íntimamente conectados con la condición física del suelo (Porta et al., 2003). Además, conocer dichas propiedades es esencial porque influyen directamente en su fertilidad, productividad agrícola y sostenibilidad ambiental.

La estabilidad de la estructura se define como la resistencia de los grumos y agregados del suelo a deshacerse o disgregarse en condiciones de humedad, por efectos de factores externos, dependiendo del tipo y cantidad de arcilla; materia orgánica u otro agente cementante que permita mantener estable la estructura. (Pulido et al., 2013).

En Cuba en los últimos 10 años se han realizado trabajos en este sentido en diferentes tipos de suelos, donde a través de esta metodología se demuestra cómo por el tipo de uso de la tierra, en este caso el cultivo intensivo o con el monocultivo continuado, ejemplo con el cultivo del arroz; se degrada el estado estructural del suelo, disminuye la diversidad biológica, disminuye el contenido de materia orgánica y disminuye las reservas de carbono (Morales et al., 2006; Morell et al., 2008; Hernández et al., 2013).

Entre los factores que pueden afectar la estabilidad de los fragmentos, es de fundamental importancia la distribución de las partículas minerales y orgánicas del suelo que condicionan la agregabilidad o facilidad de las mismas a dejarse unir entre sí. A mayor nivel de materia orgánica, los agregados son más estables. (Álvarez & Steinbach, 2006).

La estabilidad estructural es uno de los parámetros que ha mostrado gran sensibilidad en manifestar cambios ante diferentes manejos del suelo. Las rotaciones de cultivo y los sistemas de labranza inciden sobre la estabilidad de los macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$) principalmente a través del efecto que tiene sobre la materia orgánica. Numerosos estudios muestran en los sistemas de siembra directa mayores valores superficiales de materia orgánica y estabilidad estructural, en comparación con sistemas convencionales de labranza. (Buschiazzi et al., 1998; Díaz-Zorita et al., 1999; Sanzano et al., 2005).

El suelo durante su formación adquiere diferentes tipos de estructuras en dependencia de múltiples factores como el contenido y tipo de arcilla y la cantidad de materia orgánica (Hernández et al., 2013). El proceso de formación de la estructura parte de la capacidad que tiene la masa de suelo

de disgregarse por sí misma en separaciones de distintas formas, tamaños y poros, relacionados por la influencia de fuerzas naturales y también la actividad microbiana.

Sobre la base de lo anteriormente planteado, este trabajo tiene por objetivo evaluar el impacto del estado estructural en suelos de composición Ferralítica en la finca Roma, municipio San Nicolás de Bari, Provincia Mayabeque.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se lleva a cabo en la finca "Roma" perteneciente a la CCS "José Luis García" del municipio de San Nicolás de Bari, Provincia Mayabeque. Se encuentra en las coordenadas geográficas a los $22^{\circ} 48' 14.63''$ de latitud norte y a los $81^{\circ} 55' 10.11''$ de longitud oeste, según el Sistema de Coordenada Cuba Norte. Tiene una extensión de 4 ha dedicadas fundamentalmente a la producción de posturas y hortalizas (lechuga, rábano, col, acelga, entre otros). El área de cultivo semiprotegido, cuenta con una superficie de 0.24 ha.

El suelo objeto de estudio es Ferralítico Amarillento Lixiviado (FRAL) según la Clasificación de los Suelos de Cuba (Hernández et al., 2019).

Se evaluó el estado de la estructura del suelo a través de las determinaciones del índice de estabilidad estructural mediante el método de Savinov que incluye las evaluaciones en tamiz seco y húmedo (Hernández et al., 2013).

Los índices de estabilidad estructural se determinaron según las ecuaciones siguientes:

$$Kes = \frac{\sum \%Ag_{10\text{ mm a } 0,25\text{ mm}}}{\%Ag_{> 10\text{ mm} + < 0,25\text{ mm}}} \quad (1)$$

$$Keh = \frac{\%Ag_{< 0,25\text{ mm}}}{\sum \%Ag_{> 0,25\text{ mm}}} \quad (2)$$

donde:

Kes- coeficiente de estabilidad estructural en tamiz seco;

Keh- coeficiente de estabilidad estructural en tamiz húmedo

Ag- agregados.

$$Ie = \frac{\sum \%Ag_{> 0,25\text{ mm}} (Th)}{\sum \%Ag_{> 0,25\text{ mm}} (Ts)} \quad (3)$$

donde:

Ie- índice de estabilidad estructural;

Th- tamiz húmedo;

Ts- tamiz seco.

Con este fin se utilizó una barrena de canal de 1,30 metros de largo que extrae un bloque de suelo de aproximadamente un kg. Antes de tomar las muestras se limpió la superficie del suelo de vegetación para facilitar la penetración de la barrena y reducir su contaminación con material orgánico. Para el control de la profundidad de muestreo el tubo de la barrena fue marcada utilizando una cinta adhesiva según la profundidad seleccionadas.

Para el desarrollo de la investigación se tomaron las muestras en diferentes profundidades, siguiendo el método del Zigzag para luego establecer muestras compuestas.

Las muestras en el área de estudio se tomaron el 11 de septiembre de 2024, en los diferentes horizontes de dos calicatas en los extremos del área de estudio.

Una vez en el laboratorio se secaron al aire y se tamizaron en tamices de 1,0 y 2,0 mm y posteriormente se almacenaron en frascos de plástico para desarrollar los análisis correspondientes.

La caracterización física del suelo se realizó en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del INCA siguiendo la metodología descrita por [Hernández et al. \(2013\)](#), a las cuales se les realizaron las siguientes determinaciones:

- Humedad natural o de campo del suelo por el método gravimétrico.
- Densidad de volumen (g cm^{-3}): Utilizando cilindros cortantes de 100 cm^3 de capacidad.
- Coeficientes e Índice de estabilidad de los agregados: Mediante el tamizado en seco y húmedo de los agregados, según el método de N. I. Savvinov.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento de la estabilidad de la estructura en los diferentes horizontes del perfil, se presentan en la [Tabla 1](#). Teniendo en cuenta los valores reflejados para el coeficiente de estabilidad en seco, en los horizontes superiores del perfil se mostró una buena distribución de agregados, los que presentaban porcentajes altos de entre los rangos de 0,25 a 10 mm de diámetro. Manifestándose la presencia de estructura del tipo granular en superficie y con abundantes bloques subangulares medianos hacia abajo. Sin embargo, de 45 a 90 cm de profundidad en el perfil se afecta dicha distribución, ya que se comienzan a formar agregados de tamaños superiores del tipo de bloques prismáticos principalmente. Por tanto, esto favorece a un mejor desarrollo del cultivo de las hortalizas que necesitan de una profundidad de 20 cm de preparación de suelo.

Tabla 1. Coeficientes e índice de estabilidad de los agregados en los horizontes del perfil.

Horizonte	Profundidad (cm)	K.es	K.eh	I.e
Ap	0-15	1,37	0,55	0,67
A	15-30	1,46	0,36	0,77
AB	30-45	1,30	0,43	0,71
B	45-60	0,74	0,76	0,58
B1	60-90	0,55	1,09	0,43

Leyenda: K.es: coeficiente de estabilidad en seco; K.eh: coeficiente de estabilidad en húmedo; I.e: índice de estabilidad.

Con respecto al coeficiente de estabilidad en húmedo y al índice de estabilidad, en los primeros 45 cm del perfil, estos indicadores presentan valores que indican una buena formación de agregados con cierta resistencia

a deshacerse por la acción de factores como la lluvia y las labores agrícolas, los cuales se fueron degradando con la profundidad.

Las buenas condiciones de estabilidad de la estructura en los primeros horizontes se deben al manejo a que ha estado sometido ese suelo por la aplicación periódica de diferentes fuentes de materia orgánica. Lo que influye en la mejora de un conjunto de parámetros como la porosidad, la relación aire-agua, penetración radicular y retención de humedad ([Hernández et al., 2007](#)). En el horizonte Ap estos indicadores muestran una ligera degradación, lo que está dado a que el suelo en los primeros 15 cm está bajo el efecto del laboreo y remoción. Según [García \(2009\)](#), en los suelos donde se realizan labores de labranza, la materia orgánica se oxida disminuyendo la posibilidad de mantener la estructura del suelo. La estructura formada por debajo de los 45 cm en el perfil manifiesta una pérdida de su estabilidad, debido principalmente a la poca actividad biológica, poca presencia de raíces y compuestos orgánicos en dicha profundidad, destacándose la formación de agregados de tamaños de medianos a grandes.

Es de destacar cómo a pesar de que los contenidos de materia orgánica en parte del espesor del perfil estuvieron con valores inferiores a la media, en estos suelos Ferralíticos Rojos la influencia del hierro, el contenido en arcilla del tipo 1:1 y las fracciones de materia orgánica forman agregados con cierto grado de estabilidad ([Hernández et al., 2013](#)).

Tabla 2. Análisis de la Densidad aparente y Humedad Gravimétrica de la Finca “Roma”.

Profundidad (cm)	Horizonte	Densidad aparente (g cm^{-3})	Humedad gravimétrica (%)
0 - 0,15	Ap	1,008	0,68
0 - 0,15	Ap	1,039	0,20
0,15 - 0,30	A	1,128	0,34
0,15 - 0,30	A	1,219	0,34
0,45 - 0,60	B	1,32	0,32
0,45 - 0,60	B	1,316	0,33
0,60 - 0,90	B1	1,326	0,31
0,60 - 0,90	B1	1,333	0,33

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g cm^{-3} o t m^{-3}). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso ([Febles et al., 2019](#)). Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes ([Febles et al., 2019](#)).

De acuerdo con Durán & Acosta (2018) los valores normales para la densidad volumétrica o aparente se encuentran entre 0,9 y 1,16 g cm⁻³ en este tipo de suelo hasta 1 m de profundidad. Los valores obtenidos fueron mayores, como se refleja en la Tabla 2 donde en las profundidades de 15-30, 45-60 y 60-90 cm aumentan, lo que se pone de manifiesto la compactación en estas profundidades coincidiendo con los valores reportados por Hernández et al. (2013), quien atribuye tales diferencias a la antropogénesis intensivas sufrida por estos suelos, en los cuales no se han hecho labores de subsolación recientes.

La compactación se define entonces como un fenómeno de cambio en las condiciones físicas del suelo, producto del empaquetamiento de los agregados del suelo, y se produce en los suelos agrícolas como resultado inevitable del aumento de su densidad por disminución del espacio poroso, originándose principalmente en los procesos de humedecimiento-dsecación y en el tráfico vehicular (Burrell et al., 2016).

Como resultado, se afecta de manera negativa la penetración de las raíces, el intercambio gaseoso, la infiltración y conservación del agua; todos estos aspectos restringen el desarrollo del sistema radical, la actividad microbiana, la absorción de nutrientes y los procesos de mineralización (Bernal et al., 2019). La compactación se encuentra condicionada por la historia de uso y manejo del suelo, así como sustentar la utilización de esta propiedad física como un indicador del deterioro físico del medio edáfico, Carfagno et al. (2021) destaca la sensibilidad de este indicador para estimaciones a corto plazo, siempre utilizado de manera conjunta con otros indicadores de tipo físico y biológico.

De igual forma, al evaluar la humedad de este suelo se observó que a partir de la profundidad de 0.15 - 0.30 cm esta va disminuyendo debido a que el contenido de materia orgánica va disminuyendo y esta presenta propiedades hidrófilas y la estructura formada por debajo de los 45 cm en el perfil manifiesta una pérdida de su estabilidad destacándose la formación de agregados de tamaños de medianos a grandes. De acuerdo con Bernal et al. (2015) y Bateman et al. (2019) es debido al aumento de la arcilla debido a la presencia de una capa compactada en dicha profundidad. Resultados similares han sido reportados por Bernal et al. (2017). Ello coincide con Dorant et al. (2000), para quien los tipos de coloides minerales que predominan en el suelo y la cantidad de MO son los máximos responsables de este comportamiento.

CONCLUSIONES

- Los valores obtenidos respecto al coeficiente de estabilidad en húmedo y al índice de estabilidad, en los primeros 45 cm del perfil, presentaron valores que indican una buena formación de agregados con cierta resistencia a deshacerse por la acción de factores como la lluvia y las labores agrícolas, los cuales se fueron degradando con la profundidad.

- Se comprobó que la estructura presente en la finca objeto de estudio es del tipo granular en superficie y con abundantes bloques subangulares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, R., & Steinbach, H.S. (2006). Efecto del sistema de labranza sobre la materia orgánica. *Materia orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 69-78.
- Bateman, A.M., Erickson, T. E., Merritt, D.J., Veneklaas, E. J., & Muñoz, M. (2019). Water availability drives the effectiveness of inorganic amendments to increase plant growth and substrate quality. *Catena*, 182, 104-116.
- Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., González, P.J., & Reyes, R. (2015). Características de los suelos y sus factores limitantes de la región de murgas, provincia La Habana. *Cultivos tropicales*, 36(2), 30-40.
- Bernal, A., & Hernández, A. (2017). Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 50-57.
- Bernal, A., Hernández, A., González, P.J., & Cabrera, A. (2019). Caracterización de dos tipos de suelos dedicados a la producción de plantas forrajeras. *Cultivos Tropicales*, 40(3).
- Burrell, L. D., Zehetner, F., Rampazzo, N., Wimmer, B., & Soja, G. (2016). Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*, 282, 96-102.
- Buschiazzo, D.E., Panigatti, J. L., & Unger, P.W. (1998). Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research*, 49(1-2), 105-116.
- Carfagno, P., Irigoin, J., Civeira, G., & Irigoin, N. (2021). Cuidar el suelo, es cuidar la vida. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*, Argentina.
- Chavarría, F. (2009). *Diseño de Relleno Sanitario para el municipio de San Ramón*. Departamento de Matagalpa.
- Díaz-Zorita, M., & Basanta, M. (1999). Efectos de seis años de labranzas en un Hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo*, 17(1), 31-36.
- Dorant, J.W., A. Jones, M. Arshad & J. Gilley. (2000). Determinants of soil quality and heath. In: *Soil Quality and Soil Erosion*, Lal R. (ed.) CRC Press: Boca Raton, FL. Pp. 17-38.
- Durán, S., & Acosta, R. (2018). *Suelos, degradación, recuperación y manejo en el trópico*. Editorial Científico Técnica. La Habana 2018. Instituto Cubano del Libro.
- Febles J.M., Febles J., Sobrinho, M.B.A., Tolón, A., Lastra-Bravo, X., & Botta, G. F. (2019). Resilience of Red Ferralitic soils in the karst regions of Mayabeque Province, Cuba. *Land degradation & development*, 30(1), 109-116.
- Ferreras, L., Toresani, S., Faggioli, V. & Galarza, C. (2015). Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina. *Revista Spanish Journal of Soil Science*, 5(3).

- García, P.A. (2009). Erosion Processes and Control (Doctoral dissertation, University of Arizona).
- Hernández, A., Cabrera, A., Borges, Y., Vargas, D., Bernal, A., Morales, M., & Ascanio, M.O. (2013). Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*, 34(3), 45-51.
- Hernández, C.L., Ramos, J., del Pino, M., & López, I. (2007). Efecto del estiércol de vacuno en la estabilidad estructural y la actividad biológica de un suelo bajo manejo agrícola. *Acta Biológica Venezuelica*, 27(2), 19-30.
- Hernández, J.A., Pérez, J.J.M., Bosch, I.D., & Speck, N.C. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: Énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1), ISSN: 0258-5936, Publisher: Ediciones INCA
- Morales, M., Vantour, A., & Hernández, A. (2006). Contenidos y formas del nitrógeno, fósforo y potasio de los suelos cafetaleros de Nipe-Sagua-Baracoa. *Revista Café y Cacao*, 7(1), 3-10.
- Morell, F., & Hernández, A. (2008). Degradación de las propiedades agrobiológicas de los suelos Ferralíticos rojos lixiviados por la influencia antrópica y su respuesta agroproductiva al mejoramiento. *Agronomía Tropical*, 58(4), 33-343.
- Pulido, M., Gabriels, D., Cornelis, W., & Lobo, D. (2013). Comparing aggregate stability tests for soil physical quality indicators. *Land Degradation & Development* 26(8): 843-852. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/> <https://doi.org/10.1002/ldr.2225/full11>
- Porta, J., Reguerín, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*, Tercera edición; Impreso en España, Ediciones Mundi-prensa, pp.929.
- Sanzano, G.A., Corbella, R.D., García, J.R., & Fadda, G.S. (2005). Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. *Ciencia del suelo*, 23(1), 93-100.