



## Calibración de la estabilidad estructural relacionado con el diámetro medio ponderado en diferentes suelos

### Calibration of structural stability indicators, related to the weighted average diameter of aggregates, in different soils

 Andy Bernal-Fundora\*,  Juan Adriano Cabrera-Rodríguez,  Alberto Hernández-Jiménez

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

**RESUMEN:** Para valorar la fertilidad del suelo luego de haberse manejado, o para monitorear la evolución de sus propiedades al someterlo al impacto de alguna medida de mejoramiento, es necesario tomar en consideración los análisis físicos. A pesar de que la estructura es una de las propiedades más sensible a los cambios, en el método de N. I. Savvinov no se ofrece una información precisa relacionada con los resultados de su análisis y el estado de agregación de los suelos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar y establecer una calibración de indicadores de la estabilidad estructural y su relación con el diámetro medio ponderado de los agregados en diferentes suelos. Para establecer la calibración de los indicadores, se analizaron 161 muestras provenientes del horizonte cultivable de diferentes tipos de suelos. Los suelos bajo pasto y bosque mostraron los mejores indicadores de estabilidad estructural y un diámetro medio ponderado de sus agregados más favorable para el desarrollo de los cultivos; mientras que aquellos destinados a la producción agrícola intensiva presentaron valores indicativos de la degradación de su estructura y la prevalencia de diámetros en sus agregados que afectan el adecuado funcionamiento de los suelos, por lo que a partir de los resultados obtenidos se permite realizar una interpretación más acertada respecto al comportamiento de la estabilidad estructural.

**Palabras clave:** estructura del suelo, análisis del suelo, suelos agrícolas, degradación del suelo.

**ABSTRACT:** To assess soil fertility after it has been managed, or to monitor the evolution of its properties when subjected to the impact of some improvement measure, it is necessary to take into consideration physical analysis. Although structure is one of the properties most sensitive to changes, N. I. Savvinov method does not provide precise information related to results of its analysis and soil aggregation state. The present work aim was to evaluate and establish an indicator calibration of structural stability and their relation to the weighted average diameter of aggregates in different soils. To establish the indicator calibration, 161 samples from the cultivable horizon of different types of soils were analyzed. Soils under pasture and forest showed the best indicators of structural stability and a weighted average diameter of their aggregates more favorable for crop development; while those intended for intensive agricultural production showed values indicative of their structure degradation and the prevalence of diameters in their aggregates that affect the proper functioning of soils, so that from results a more accurate interpretation can be made regarding structural stability behavior.

**Key words:** soil structure, soil analysis, agricultural soils, soil degradation.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de las propiedades de fertilidad mediante análisis de laboratorio, es necesario para conocer en qué condiciones de degradación o conservación se encuentran los suelos después de determinado tipo de manejo agrícola o para monitorear cualquier tecnología de mejoramiento.

Se conoce que la estructura es un componente importante para el funcionamiento del suelo y es

considerada un indicador del grado de degradación y/o recuperación del mismo (1), siendo el análisis de los agregados por el método de N. I. Savvinov una de las metodologías a utilizar para determinar la resistencia de los diferentes tipos de estructura a deshacerse o disgregarse por la influencia de factores externos, principalmente el agua, desde un punto de vista cuantitativo (2).

A partir del método de N. I. Savvinov se determina el coeficiente de estabilidad en seco ( $Ke_s$ ), que refleja el

\*Autor para correspondencia: [andy@inca.edu.cu](mailto:andy@inca.edu.cu)

Recibido: 20/01/2021

Aceptado: 22/11/2021



estado estructural de los suelos tal y como se encuentra en el campo y proporciona una medida indirecta de la distribución del tamaño de los agregados al momento de realizado el muestreo, también se determina el coeficiente de estabilidad en húmedo ( $K_{e_h}$ ), herramienta eficaz para evaluar la distribución de las fracciones de los agregados estables y comprender la resistencia de la estructura del suelo (3,4) y por último el índice de estabilidad estructural ( $I_e$ ), indicador de la degradación de los suelos que se puede medir mediante diferentes métodos (1,5,6), cuantificándose la resistencia a la disgregación y dispersión de los distintos agregados superiores a 0,25 mm por la acción del agua (7,8).

En estudios realizados previamente para la caracterización de distintos tipos de suelos, se presentan resultados sobre el estado de los agregados, a partir de su cuantificación en diferentes fracciones (9,10), y más recientemente en trabajos donde se evalúa directamente la estabilidad de los agregados por el método anteriormente mencionado en suelos bajo diferentes manejos agrícolas, o con una intensa actividad antrópica (11,12). En la actualidad, no se cuenta con una herramienta que permita realizar una interpretación del estado estructural de los

suelos en correspondencia con los valores de los coeficientes e índice de estabilidad y el diámetro medio predominante. A partir de lo expresado, se plantea como objetivo del presente trabajo evaluar y establecer una calibración de indicadores de la estabilidad estructural y su relación con el diámetro medio ponderado de los agregados en diferentes suelos.

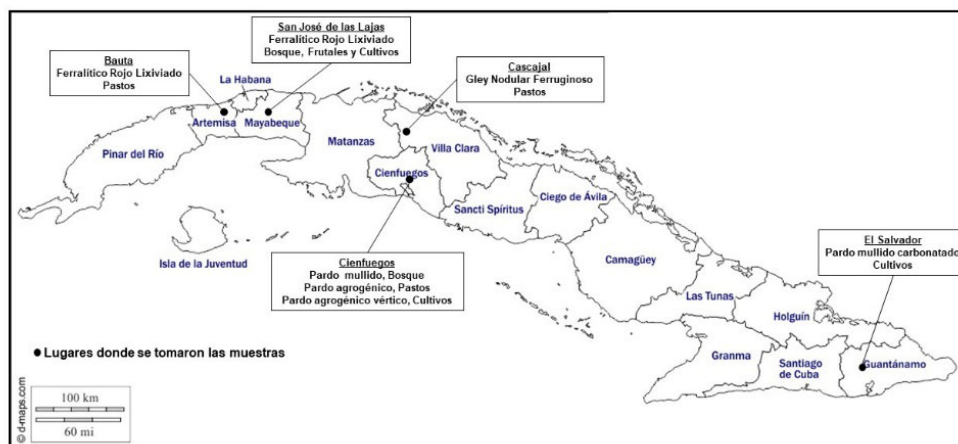
## MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron 161 muestras de varios tipos de suelos sometidos a diferentes usos y manejos, tomadas al azar a una profundidad de 0-20 cm (Tabla 1) distribuidos en diferentes provincias del país (Figura 1).

Para el análisis de la estabilidad de los agregados por el método de N. I. Savvinov (2), se utilizó una pala y una bandeja de plástico, tratando de no dañar la conformación del suelo y así mantener una mejor conservación de su estructura durante su traslado, tomándose 500 g de cada muestra. Para determinar el coeficiente de estabilidad en seco ( $K_{e_s}$ ), se hizo pasar por una columna de tamices de tamaño de malla entre 10 mm y 0,25 mm (tamizado seco Ts); una vez registradas las masas de las fracciones de los

**Tabla 1.** Cantidad de muestras analizadas por tipos de suelos

Tipos de suelos	Número de muestras	Uso del suelo
Ferralítico Rojo Lixiviado (FRRL)	5	Bosque
	5	Frutales
	5	Cultivos
	36	Pastos
Gley Nodular Ferruginoso (GNF)	91	Pastos
Pardos agrogénico vértico medianamente lavado (Pagv)	3	Cultivos
Pardo agrogénico medianamente lavado (Pag)	3	Pastos
Pardo mullido medianamente lavado (Pm)	3	Bosque
Pardo mullido carbonatado (Pmk)	10	Cultivos
Total	161	



**Figura 1.** Localización por provincias de 161 muestras de suelos sometidos a diferentes usos y manejos tomadas para la determinación de los coeficientes de estabilidad, índice de estabilidad estructural y tamaño medio ponderado de los agregados

agregados retenidos en cada tamiz y los porcentajes de cada una con relación a la masa total de la muestra, se calculó el  $Ke_s$  con la siguiente fórmula:

$$Ke_s = \frac{\sum \% 0,25\text{mm a } 10\text{mm}}{\% > 10\text{mm} + \% < 0,25\text{mm}}$$

El coeficiente de estabilidad en húmedo ( $Ke_h$ ) se determinó utilizando el 10 % de la masa de cada una de las fracciones registradas en el  $T_s$ , exceptuando a la fracción menor a 0,25 mm; cada muestra se añadió a una probeta de 500 mL con agua y se realizaron cinco giros de 180° a intervalos de un minuto. Posteriormente, el contenido de la probeta se pasó a una columna de tamices con tamaño de malla entre 5 mm y 0,25 mm (tamizado en húmedo,  $T_h$ ), la que se colocó dentro de un depósito con agua para realizar los movimientos oscilatorios. El suelo retenido en cada uno de los tamices se recogió en pesafiltros metálicos y se secaron en una plancha de calentamiento. Una vez secos los agregados, se midió su masa y porcentaje; la masa de las fracciones <0,25 mm se determinó por diferencia. Para calcular el valor de  $Ke_h$  se empleó la fórmula:

$$Keh = \frac{\% < 0,25\text{mm}}{\sum \% > 0,25\text{mm}}$$

El valor del índice de estabilidad estructural ( $I_e$ ), se calculó a partir de la fórmula:

$$Ie = \frac{\sum \% > 0,25\text{mm} (T_h)}{\sum \% > 0,25\text{mm} (T_s)}$$

Se determinó el diámetro medio de cada clase ( $X_i$ ), a partir del promedio entre los diámetros de aberturas entre cada tamiz y la proporción de agregados en cada clase ( $W_i$ ), esta última mediante la división del peso del suelo de cada fracción entre el peso total de la muestra. Finalmente se calculó el diámetro promedio ponderado de los agregados en seco ( $DMP_s$ ) y húmedo ( $DMP_h$ ), empleando las ecuaciones del Manual de Métodos de Análisis de Suelo (13), que aparecen a continuación:

$$DMP_s = \sum (X_{is} * W_{is})$$

$$DMP_h = \sum (X_{ih} * W_{ih})$$

donde:

$DMP_s$ : diámetro medio ponderado en seco, en mm.

$DMP_h$ : diámetro medio ponderado en húmedo, en mm.

$W_{is}$ : proporción de agregados en cada clase / tamiz (i), por  $T_s$ , en %.

$X_{is}$ : diámetro medio de cada clase, por  $T_s$ , en mm.

$W_{ih}$ : proporción de agregados en cada clase / tamiz (i), por  $T_h$ , en %.

$X_{ih}$ : diámetro medio de cada clase, por  $T_h$ , en mm.

El Índice de Estabilidad de Agregado (IEA) a partir del diámetro medio ponderado y expresado en %, se calculó de acuerdo con la fórmula:

$$IEA = \frac{DMP_h}{DMP_s} \times 100$$

donde:

IEA: índice de estabilidad agregado, expresado en %.

$DMP_h$ : diámetro medio ponderado en húmedo, en mm.

$DMP_s$ : diámetro medio ponderado en seco, en mm.

**Tabla 2.** Codificación de los grupos creados según su uso agrícola para la realización de un análisis discriminante

Tipo de suelo	Código de manejo
FRRL-Bosque	1
FRRL-Frutales	2
FRRL-Cultivos	3
GNF-Pastos	4
FRRL-Pastos	5

**Tabla 3.** Codificación de los grupos según el tipo de suelo y el destino agrícola para la realización de un análisis de varianza

Tipo de suelo y destino agrícola	Código
FRRL (Bosque)	1
FRRL (Frutales)	2
FRRL (Cultivos)	3
GNF (Pastos)	4
FRRL (Pastos)	5
Pagv (Cultivos)	6
Pag (Pastos)	7
Pm (Bosque)	8
Pmk (Cultivo)	9

### Procesamiento estadístico

Para establecer los niveles de calibración de los coeficientes e índice de estabilidad de los agregados, primeramente, se creó una variable discriminatoria (Código de manejo) considerando el tipo de suelo (Tabla 2), exceptuando al Ferralítico Rojo Lixiviado dedicado a pastos, posteriormente se realizó un análisis discriminante sobre la variable creada; luego se realizó un histograma de frecuencias con 5 clases.

Finalmente, se codificaron los individuos de acuerdo con el tipo de suelo y el destino agrícola de cada uno, tal como se muestra en la Tabla 3, para valorar el efecto conjunto sobre los coeficientes evaluados.

Los grupos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y cuando se encontraron diferencias significativas entre las medias de los diferentes indicadores estudiados, se compararon según la prueba de Rango Múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Todos los análisis se ejecutaron con el paquete estadístico Statgraphics Plus para Windows v. 5.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el análisis discriminante se alcanzó 94,4 % de casos correctamente clasificados, lo que permitió considerar a los cinco grupos conformados como acertados. Los valores medios y el error estándar de cada grupo se presentan en la Tabla 4.

### Coeficiente de estabilidad en seco

El valor del  $Ke_s$  depende fundamentalmente de la cantidad de agregados que se registren en los rangos de

**Tabla 4.** Medias y error estándar obtenido del análisis discriminante de cada indicador de los grupos creados según su uso agrícola

Indicadores	Suelo				
	FRRL-Bosque	FRRL-Frutales	FRRL-Cultivos	GNF-Pastos	FRRL-Pastos
	<b>Media/± Es <math>\chi</math></b>				
Ke <sub>s</sub>	0,81/±0,12	0,73/±0,09	0,64/±0,33	1,78/±0,36	1,94/±0,69
Ke <sub>h</sub>	0,44/±0,21	0,62/±0,15	0,94/±0,74	0,39/±0,11	0,12/±0,04
I <sub>e</sub>	0,69/±0,11	0,63/±0,06	0,57/±0,15	0,92/±0,07	0,92/±0,03
DMP <sub>s</sub>	10,36/±0,66	11,08/±0,44	11,01/±1,45	4,43/±1,35	7,58/±1,27
DMP <sub>h</sub>	2,32/±1,49	1,55/±0,36	0,7/±0,29	2,52/±0,46	3,17/±0,45
IEA (%)	21,98/±13,67	14/±3,04	6,51/±3,07	60/±11,47	42,59/±7,05

diámetro de 10 mm a 0,25 mm, a mayor cuantía de agregados en este rango de diámetro, más alto será el valor del Ke<sub>s</sub> y mejor será el estado de agregación del suelo.

El histograma de frecuencias con 5 clases realizado, permitió establecer cinco categorías de Ke<sub>s</sub>, como se presenta en la **Tabla 5**.

En las muestras analizadas, el valor medio de Ke<sub>s</sub> fue 1,61; oscilando entre 0,14 y 3,69.

En la **Figura 2** se ilustra el comportamiento del Ke<sub>s</sub> y del DMP<sub>s</sub> de las muestras analizadas, apreciándose que en los suelos Gley Nodular Ferruginoso y Ferralítico Rojo Lixiviado dedicados a pastos, el Ke<sub>s</sub> clasifica como Alto (**Tabla 5**), al manifestar los mayores valores del coeficiente y el DMP<sub>s</sub> de sus agregados osciló entre 4 y 7 mm. Los otros suelos analizados, clasificaron como Regular, con valores del Ke<sub>s</sub> por debajo de 1,10 y un DMP<sub>s</sub> de sus agregados superior a 10 mm.

Los suelos que muestran un Ke<sub>s</sub> Alto, presentan un predominio de agregados de diámetros entre 1 a 10 mm. A medida que se incrementa la formación de los agregados en estas fracciones de diámetro, el suelo gana en valor agronómico, ya que presenta menos estructuras masivas (14), permitiendo establecer un balance adecuado de macro y microporos, lo que favorece la relación aire-agua en el suelo (15).

Estos resultados coinciden con lo planteado por otros autores, en los que se ha demostrado que suelos con un DMP<sub>s</sub> alrededor de 7 mm presentan una buena estructura para un adecuado desarrollo de los cultivos (16).

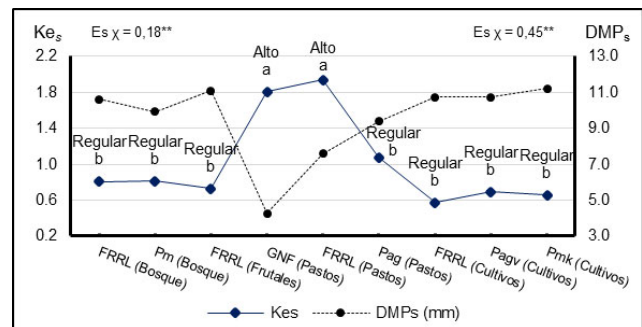
Por el contrario, en los suelos con valores del Ke<sub>s</sub> Regular, la presencia de agregados de diámetros menores de 0,25 mm o superiores a 10 mm se hace marcada, debido a la presencia de agregados medianos y grandes en superficie, indicando que el estado estructural del suelo no es adecuado, lo que se manifiesta directamente en el desarrollo de los cultivos (17).

**Coefficiente de estabilidad en húmedo**

El valor del Ke<sub>h</sub> obedece a la cantidad de agregados mayores de 0,25 mm que se registren después del proceso de tamizado húmedo, pues a mayor cantidad de agregados registrado en ese rango de diámetro, más bajo será el valor

**Tabla 5.** Calibración de los valores del coeficiente de estabilidad en seco (Ke<sub>s</sub>) a partir del histograma de frecuencias realizado con los resultados de 161 muestras de diferentes suelos

Valores del Ke <sub>s</sub>	Categoría
>2,00	Muy alto
(1,10 - 2,00)	Alto
(0,55 - 1,10)	Regular
0,30 - 0,55	Bajo
<0,30	Muy bajo



FRRL: Ferralítico Rojo Lixiviado, Pm: Pardo mullido GNF: Gley Nodular Ferruginoso, Pag: Pardo agrogénico, Pagv: Pardo agrogénico vértico, Pmk: Pardo mullido carbonatado. Medias con letras iguales no difieren entre sí según prueba de Duncan (p<0,05)

**Figura 2.** Calibración de los valores del coeficiente de estabilidad en seco (Ke<sub>s</sub>) y su relación con el DMP<sub>s</sub> en los diferentes tipos de suelos, según su uso

del coeficiente y mejor será la resistencia de los agregados a deshacerse por los efectos del agua.

El histograma de frecuencias con 5 clases realizado, permitió establecer cinco categorías de Ke<sub>s</sub>, como se presenta en la **Tabla 6**.

En las muestras analizadas, el valor medio de Ke<sub>h</sub> fue 0,40; oscilando los valores entre 0,04 y 2,88.

Con relación al comportamiento del Ke<sub>h</sub> y el DMP<sub>h</sub> (**Figura 3**), según los resultados obtenidos los suelos Ferralítico Rojo Lixiviado, Pardo agrogénico cultivados con pastos y Ferralítico Rojo Lixiviado bajo bosque presentaron un Ke<sub>h</sub> clasificado como Muy alto y el suelo Gley Nodular

Ferruginoso con pastos como alto (Tabla 6). El  $DMP_h$  de los suelos anteriormente mencionados se mantuvo entre 3 y 3,5 mm. En los demás suelos analizados los valores del  $Ke_h$  fue considerado de Regular a Muy bajo, reflejándose en los mismos un  $DMP_h$  de sus agregados después del tamizado húmedo inferior a 1 mm.

Este comportamiento en los suelos que muestran un  $Ke_h$  Muy alto y Alto, es decir los menores valores de este indicador, pudiera estar dado por la acción de una red densa de las raíces de los pastos, las cuales se adhieren las partículas por la presencia de exudados radicales (18,19), mejorando la formación de microagregados, que luego se fusionan en macroagregados, para formar una estructura relativamente estable en el suelo (20).

Con relación a los valores en el  $DMP_h$  obtenido en los suelos con mejores condiciones de fertilidad, igualmente en trabajos realizados previamente se informaron altos valores de este indicador en suelos cultivados con bosque y pastos, en comparación con otros sistemas agrícolas (21).

Estos resultados respecto al  $DMP_h$ , concuerdan con lo planteado por otros autores, donde los agregados en húmedo entre 1 y 5 mm de diámetro, representan los de mayor valor agronómico para un adecuado desarrollo de las plantas (22).

En los suelos con cierto grado de degradación por el cultivo continuado no mantienen la estabilidad la mayoría de sus agregados, lo que provoca que se manifiesten valores bajos en el  $DMP_h$ . Efecto que pudiera estar relacionado con la disminución de los contenidos de materia orgánica, lo que trae consigo una transformación más agresiva de sus agregados.

### Índice de estabilidad estructural

El valor del índice de estabilidad estructural por este método se basa en la relación entre las fracciones mayores de 0,25 mm en el tamizado húmedo y seco. A mayor cuantía de estos agregados cuantificados en el tamizado húmedo, más alto será el valor del índice, ya que este indicador a medida que se acerca a uno indica la existencia de menor proporción de agregados menores de 0,25 mm, manifestando que el suelo posee mejor estado de agregación de sus partículas (22).

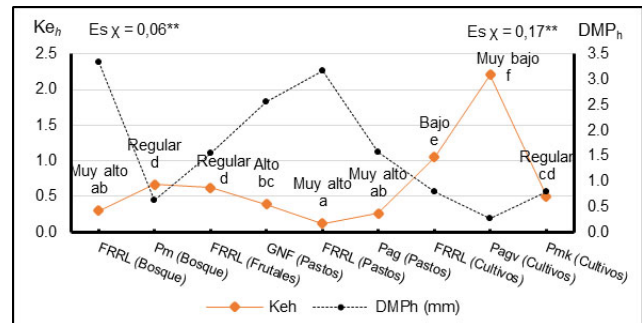
El histograma de frecuencias con 5 clases realizado, permitió establecer cinco categorías de  $I_e$ , como se presenta en la Tabla 7.

En las muestras analizadas, el valor medio de  $I_e$  fue 0,86; oscilando los valores entre 0,26 y 1,04.

La figura 4 muestra el comportamiento del  $I_e$  y del porcentaje del IEA de los suelos analizados. Según los resultados del  $I_e$ , los suelos Gley Nodular Ferruginoso y Ferralítico Rojo Lixiviado dedicados a pastos fueron clasificados como Muy alto, presentando a su vez los mayores porcentajes del IEA y los suelos Ferralítico Rojo Lixiviado bajo bosque y Pardo agrogénico con pasto se consideraron como Alto (Tabla 7). Los demás suelos fueron clasificados con un  $I_e$  de Regular a Muy bajo, al presentar

**Tabla 6.** Calibración de los valores del coeficiente de estabilidad en húmedo ( $Ke_h$ ) a partir del histograma de frecuencias realizado con los resultados de 161 muestras de diferentes suelos

Valores del $Ke_h$	Categoría
<0,30	Muy alto
0,30 - 0,45	Alto
(0,45 - 0,70	Regular
(0,70 - 1,10	Bajo
>1,10	Muy bajo



Medias con letras iguales no difieren entre sí según prueba de Duncan ( $p < 0,05$ )

**Figura 3.** Calibración de los valores del coeficiente de estabilidad en húmedo ( $Ke_h$ ) y su relación con el  $DMP_h$  en los diferentes tipos de suelos, según su uso. FRRL: Ferralítico Rojo Lixiviado, Pm: Pardo mullido GNF: Gley Nodular Ferruginoso, Pag: Pardo agrogénico, Pagv: Pardo agrogénico vértico, Pmk: Pardo mullido carbonatado

**Tabla 7.** Calibración de los valores del Índice de estabilidad estructural ( $I_e$ ) a partir del histograma de frecuencias realizado con los resultados de 161 muestras de diferentes suelos

Valores del $I_e$	Categoría
>0,90	Muy alto
>0,70 - 0,90	Alto
>0,55 - 0,70	Regular
0,40 - 0,55	Bajo
<0,40	Muy bajo

menores valores de indicador y un porcentaje de agregación inferior al 20 %.

La alta estabilidad presentada en los suelos cultivados con pastos está dada, además del efecto por la acción mecánica de las raíces, a que se favorece la protección de la materia orgánica de la degradación microbiana en los agregados, debido a una menor alteración del suelo y sus agregados permanecen físicamente estables (23). Anteriormente se realizaron estudios sobre la influencia de diferentes sistemas de manejos sobre las propiedades de un suelo Ferralítico Rojo, reflejándose como los pastos conservaban la estabilidad de la estructura, a diferencia de otros sistemas de producción (24).

Otro factor que ofrece una alta estabilidad de los agregados del suelo, es la materia orgánica, que en conjunto con otros componentes intervienen en la formación de la estructura ejerciendo un efecto directo en la resistencia reflejada por los agregados después del humedecimiento. Pues se ha demostrado que constituye un fuerte agente de unión entre las partículas del suelo, aumentando su cohesión interna y asegurando su estabilidad, lo que hace que disminuyan los efectos de colapción y estallamiento de los agregados a fracciones más pequeñas (23,25), además de tener un efecto hidrofóbico sobre los agregados del suelo.

En suelos donde se realizan labores de labranza, la materia orgánica se oxida disminuyendo la posibilidad de mantener la estructura del suelo (18). Al presentar esta condición de baja estabilidad de su estructura, al realizar el tamizado húmedo aumenta el porcentaje de partículas con diámetro menores a 0,5 mm. Ya que, durante el proceso de inmersión directa del suelo seco en agua a presiones de aire atmosférico, la ruptura de los agregados se produce con mayor facilidad, debido a que la compresión de aire ocluido en el agregado provoca su estallido cuando este es desplazado por el agua, generando agregados más pequeños y partículas primarias (16).

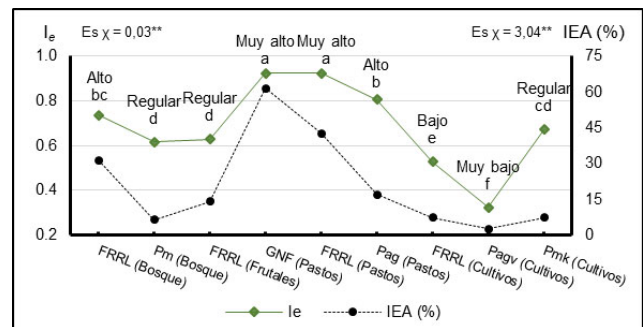
Al mismo tiempo en condiciones de campo el efecto de la lluvia produce la desagregación mecánica de los agregados (25). Exponiendo a las partículas más finas al proceso de erosión e incrementando el fenómeno de sellado superficial, al bloquear estas los poros causando limitaciones en la infiltración del agua, problemas de compactación del suelo y afectación en el enraizamiento de las plantas (26,27).

## CONCLUSIONES

- Se establece una calibración de los coeficientes e índice de estabilidad por el método de N. I. Savvinov, clasificados como Muy alto, Alto, Regular, Bajo y Muy bajo.
- En los suelos con valores de los coeficientes de estabilidad en seco y en húmedo considerados como Muy altos y Altos, predominan agregados resistentes a los efectos de la humedad y con un diámetro medio que favorece el funcionamiento edáfico.
- Los suelos que presentan un índice de estabilidad estructural clasificado como Muy alto, manifiestan elevados porcentajes en el Índice de estabilidad de los agregados.
- El manejo a que se somete al suelo influye sobre la estabilidad estructural del mismo, resultando más estables aquellos destinados a pastizales independientemente del tipo de suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Cerdà A. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. *Soil and Tillage Research*. 2000;57(3):159-66.



Medias con letras iguales no difieren entre sí según prueba de Duncan ( $p < 0,05$ )

**Figura 4.** Calibración de los valores del Índice de estabilidad estructural ( $I_e$ ) y su relación con el porcentaje del Índice de estabilidad de los agregados (IEA) determinado a partir del diámetro medio ponderado de los agregados en los diferentes tipos de suelos. FRRL: Ferralítico Rojo Lixiviado, Pm: Pardo mullido GNF: Gley Nodular Ferruginoso, Pag: Pardo agrogénico, Pagv: Pardo agrogénico vértico, Pmk: Pardo mullido carbonatado

2. Hernández JL. Métodos para el análisis físico de los suelos: manual de laboratorio. Ediciones INCA. 2007;54.
3. Lu J, Zheng F, Li G, Bian F, An J. The effects of raindrop impact and runoff detachment on hillslope soil erosion and soil aggregate loss in the Mollisol region of Northeast China. *Soil and Tillage Research*. 2016;161:79-85.
4. Valim WC, Panachuki E, Pavei DS, Sobrinho TA, Almeida WS. Effect of sugarcane waste in the control of interrill erosion. *Semina: Ciências Agrárias*. 2016;37(3):1155-64.
5. Juhos K, Szabó S, Ladányi M. Explore the influence of soil quality on crop yield using statistically-derived pedological indicators. *Ecological indicators*. 2016;63:366-73.
6. Annabi M, Raclot D, Bahri H, Bailly JS, Gomez C, Le Bissonnais Y. Spatial variability of soil aggregate stability at the scale of an agricultural region in Tunisia. *Catena*. 2017;153:157-67.
7. Fernández L, González M, Sáez VS. Relación entre un índice de estabilidad estructural de suelo, la zona bioclimática y la posición fisiográfica en Venezuela. *Terra Nueva Etapa*. 2016;32(52):139-49.
8. De Melo TR, Machado W, De Oliveira JF, Tavares Filho J. Predicting aggregate stability index in ferralsols. *Soil Use and Management*. 2018;34(4):545-53.
9. Agafonov O, Delgado Díaz RM, Rivero Ramos L. Propiedades físicas de los vertisuelos de Cuba, relacionadas con las particularidades de su génesis. *Ciencias de la Agricultura (Cuba)*. 1978;(3):47-80.
10. Agafonov O, Hernández A, Rivero L, Tatevosian G. Propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos Pardos Sialíticos de Cuba en relación con su génesis. La Habana, Cuba: Instituto de Suelos; 1980 p. 23.
11. Bernal-Fundora A, Hernández-Jiménez A. Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(4):50-7.
12. Barbosa M. Fungos micorrízicos arbusculares em interação com gênero *Urochloa*: simbiose e influência na

- estabilidade de agregados do solo [Internet] [Doctorado]. [Brasil]: Universidade Federal de Lavras; 2018. 104 p. Available from: [http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/29171/2/TESE\\_Arbuscular%20micorrhytic%20funges%20in%20interaction%20with%20gender%20Urochloa%20simbiosis%20and%20influence%20on%20the%20stability%20of%20soil%20ag.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/29171/2/TESE_Arbuscular%20micorrhytic%20funges%20in%20interaction%20with%20gender%20Urochloa%20simbiosis%20and%20influence%20on%20the%20stability%20of%20soil%20ag.pdf)
13. Salton JC, Silva WM, Tomazi M, Hernani LC. Agregação do solo e estabilidade de agregados. In: En: Manual de Métodos de Análise de Solo. [Internet]. 3ra ed. Brasília, DF: Embrapa; 2017. p. 130-9. Available from: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1095978>
  14. Lok S, Crespo G, Frómata E, Fraga S. Estudio de indicadores de estabilidad del pasto y el suelo en un sistema silvopastoril con novillas lecheras. 2006;40(2):229-37.
  15. Muñoz Iniestra DJ, Ferreira Ramírez M, Escalante Arriaga IB, López García J. Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. Terra Latinoamericana. 2013;31(3):201-10.
  16. Ortiz MTB, Araujo EAR. Determinación de la estabilidad de agregados del suelo en diferentes agroecosistemas del departamento Norte de Santander. Suelos Ecuatoriales. 2016;46(1 y 2):42-50.
  17. Fernández R, Quiroga A, Álvarez C, Lobartini C, Noellemeyer E. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. Ciencia del suelo. 2016;34(2):279-92.
  18. García F. Interacción entre microorganismos; estructura del suelo y nutrición vegetal. Cultura Científica. 2006; (4):48-55.
  19. Pérès G, Cluzeau D, Menasseri S, Soussana J-F, Bessler H, Engels C, et al. Mechanisms linking plant community properties to soil aggregate stability in an experimental grassland plant diversity gradient. Plant and soil. 2013;373(1):285-99.
  20. Shaver TM, Peterson GA, Ahuja LR, Westfall DG, Sherrod LA, Dunn G. Surface soil physical properties after twelve years of dryland no-till management. Soil Science Society of America Journal. 2002;66(4):1296-303.
  21. Nath AJ, Rattan LAL. Effects of tillage practices and land use management on soil aggregates and soil organic carbon in the north Appalachian region, USA. Pedosphere. 2017;27(1):172-6.
  22. Lok S, Fraga S. Comportamiento de indicadores del suelo y del pastizal en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*/*Cynodon nlemfuensis* con ganado vacuno en desarrollo. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2011;45(2):195-202.
  23. Sarker JR, Singh BP, Cowie AL, Fang Y, Collins D, Badgery W, et al. Agricultural management practices impacted carbon and nutrient concentrations in soil aggregates, with minimal influence on aggregate stability and total carbon and nutrient stocks in contrasting soils. Soil and Tillage Research. 2018;178:209-23.
  24. Hernández-Vigoa G, Cabrera-Dávila G de la C, Izquierdo-Brito I, Socarrás-Rivero AA, Hernández-Martínez L, Sánchez-Rendón JA. Indicadores edáficos después de la conversión de un pastizal a sistemas agroecológicos. Pastos y Forrajes. 2018;41(1):3-12.
  25. González HM, Restovich SB, Portela SI. Utilización de cultivos de cobertura invernales como alternativa para mejorar la estabilidad estructural del suelo. Ciencia del suelo. 2017;35(1):1-10.
  26. Cambi M, Hoshika Y, Mariotti B, Paoletti E, Picchio R, Venanzi R, et al. Compaction by a forest machine affects soil quality and *Quercus robur* L. seedling performance in an experimental field. Forest Ecology and Management. 2017;384:406-14.
  27. Silva RF da, Cipriano PE, Siueia Junior M, Mars G, Dias Junior M de S. Fast immersion to test the stability of aggregates in water: consequences for interpreting results from tropical soil classes. Acta Scientiarum. Agronomy [Internet]. 2020;42. Available from: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/zSHmfhjbL464s9qtkKgKsdP/abstract/?lang=en>