

# INDICADORES EDAFICOS PARA MEDIR LA SOSTENIBILIDAD DE SUELOS FERRALITICOS ROJOS DE LA PROVINCIA LA HABANA, CUBA

R. Orellana Gallego<sup>1</sup>, J.M. Moreno Álvarez<sup>1</sup>, J.M. Febles González<sup>2</sup>, y M. Vega Carreño<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT)*

<sup>2</sup>*Universidad Agraria de La Habana (UNAH)*

<sup>3</sup>*Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE)*

## RESUMEN

El estado de deterioro físico que presentan actualmente los suelos Ferralíticos Rojos (*Ferralsols*) de la Provincia de La Habana, Cuba, exige la selección de determinadas variables edáficas, precisas, sensibles y operativas, para controlar los cambios que se producen en ellos. Se compararon diversos ecosistemas bajo diferentes manejos. Se realizaron mediciones de distintas variables físicas y químicas de suelo, y se evaluó como ellas variaban en relación al área de referencia (bosque de mas de 100 años). Se elaboró una propuesta de indicadores edáficos y se identificaron valores umbrales, a partir de los cuales ocurre una perturbación. Las variables «materia orgánica», «agregados hidroestables», «coeficiente de dispersión» y «coeficiente de infiltración» fueron los indicadores más sensibles a la degradación del suelo.

*Palabras clave: Indicadores edáficos, degradación, manejo, Ferralíticos Rojos, Cuba*

## ABSTRACT

Physical degradation of Cuban Red Ferralitic soils (*Ferralsols*) demands the selection of soils indicators, precise, sensitive and operative, to control the changes that take place in them. Diverse ecosystems were compared under different managements. It was determined different physical and chemical variables of soils, and it was evaluated as them they varied in relation to the reference area (forest, >100 years). A proposal of soils indicators was elaborated and values thresholds were identified, starting from which it happens an interference. The variables "matter organic", "waterstables aggregates", "dispersion coeficient" and "infiltration" were the most sensitive indicators to the degradation of the soils.

*Words key: Soils indicators, physical degradation, management, Red Ferralític, Cuba*

## INTRODUCCIÓN

Los suelos Ferralíticos Rojos han sido considerados los más productivos de Cuba, con una elevada resistencia antierosiva y muy resilientes por sus características físicas (Orellana y Moreno, 2001). Sin embargo, su explotación agrícola por encima de sus posibilidades (aplicación irracional de fertilizantes químicos durante años, exceso de laboreo con maquinaria pesada y riegos inadecuados) han conducido a que en la actualidad estén sufriendo un agudo proceso de degradación física, manifestada en compactación, erosión y mal drenaje.

Este estado de degradación, hoy prácticamente irreversible (Orellana y Moreno, 2001), se ha agravado por no contar con un número de indicadores precisos, sensibles y operativos, específicamente definidos para ellos, que faciliten su monitoreo a pequeña escala y en breve tiempo, y así poder evaluar la calidad del suelo como requisito indispensable para decretar si un agroecosistema es sustentable (Doran *et al.*, 1994).

Los indicadores hacen referencia a las características o propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Las propiedades biológicas (respiración, cantidad de lombrices de tierra y nitrógeno mineralizable), como indicadores ecológicos, son más dinámicas y, por lo tanto, tienen la ventaja de servir como señales tempranas de degradación o de mejoría de los suelos (Astier-Calderón *et al.*, 2002). Otras, dentro de las físicas, como la infiltración, retención de humedad y estabilidad de los agregados, pueden ser más inteligibles a los diferentes usuarios, incluyendo los agricultores, y aplicables en diversas condiciones de campo, además de que cada una integran en sí mismas, propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, dos de los atributos, según Doran *et al.* (1994), básicos para ser seleccionadas como indicadores.

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar en forma transversal las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos Ferralíticos Rojos de la Provincia de La Habana bajo diferentes condiciones de manejo, con vistas a seleccionar las variables que mejor reflejen los cambios de estado de los mismos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de la capa arable (0-30 cm) de suelos Ferralíticos Rojos de la Provincia de La Habana a una escala espacial:

*Arboretum* (de más de 100 años de edad) – sistema de referencia

Finca de árboles frutales y maderables (>50 años de edad).

Huerto casero (> 6 años de explotación).

Finca convencional (> 20 años de explotación con prácticas no respetuosas con el medioambiente) – Los principales puntos críticos que afectan esta área son: erosión, compactación y bajos rendimientos agrícolas.

Las principales variables químicas, físicas y biológicas se determinaron de acuerdo al nivel de organización estructural del suelo, según Rozanov (1984) y Voronin (1984) (Tabla 1):

**Tabla 1. Variables y métodos utilizados por nivel de organización estructural del suelo**

Nivel de organización estructural del suelo	Variables	Método empleado
Iónico-molecular	Materia Orgánica, Bases cambiables, Nutrientes asimilables, Agua higroscópica	Colorimetría; Shatschabel; Oniani; Gravimetría

Nivel de partículas	Granulometría, Densidad de la fase sólida	Método de la pipeta de kachinski con dispersión previa mediante pirofosfato de sodio; Picnometría
Nivel de agregados	Composición de micro- y macroagregados, Estabilidad hídrica de agregados, Capacidad de retención de humedad de agregados	Tamizado seco y húmedo (Savvinov); Capilarímetro
Nivel de horizonte	Densidad de volumen, humedad natural, Porosidad	Cilindros cortantes; Gravimetría; Calculos
Nivel de perfil del suelo	Infiltración	Cilindros concéntricos
Nivel de paisaje	Indices de diversidad, Riqueza relativa.	Shannon – Weaver; Margalef;

Se calcularon los siguientes índices físicos a partir de las variables determinadas:

Coeficiente de dispersión (Kd)

Coeficiente estructural (a partir de los datos del tamiz seco)

Agregados hidroestables (a partir de los datos de tamiz húmedo)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La materia orgánica del suelo, como principio y fuerza que dirige la fertilidad (Manlay, Feller y Swift, 2007) es el indicador universal (físico, químico y biológico) de los cambios que se producen entre los sistemas. En la Tabla 2 se evidencia un rápido decrecimiento de su contenido con el manejo cuando se utilizan malas prácticas productivas. Sin embargo, las variables de índole química no manifiestan cambios notables, y sus valores están dentro de la heterogeneidad espacial que presenta el mismo suelo para cada condición.

**Tabla 2. Modificaciones del estado biológico y químico de los suelos Ferralíticos Rojos en dependencia de su manejo**

Sitio	Materia Orgánica (%)	Cationes adsorbidos cmol(+)/Kg			Elementos asimilables mg/100g	
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Arboretum</b>	5.96±0.31	20.95±0.42	4.2±0.57	0.27±0.08	18.13±3.8	17.6±5.46
<b>Finca de frutales</b>	9.18±0.91	23.19±2.20	4.0±0.66	1.72±0.47	47.25±6.7	57.16±22.6
<b>Huerto casero</b>	4.31±0.22	14.51±2.49	1.71±0.22	0.77±0.24	38.46±3.44	34.9±11.07
<b>Finca Convencional</b>	2.24±0.049	19.26±1.15	1.72±0.04	0.52±0.07	27.4±2.6	27.4±2.63

En correspondencia con la variación de los componentes orgánicos, se produce una variación en el contenido de agua retenida por fuerzas superficiales, la densidad de la fase sólida y la composición de los elementos granulométricos (Tabla 3); el uso continuado favorece el aumento de las fracciones más finas a costo de la disminución de las partículas limosas. Obsérvese como disminuye el contenido de la fracción 0.02 – 0.002 mm desde 20.91 % en el *Arboretum* hasta 9.75 % en la finca convencional. Este a su vez trae consigo una disminución de la humedad higroscópica y un aumento de la densidad de la fase sólida

**Tabla 3. Variación en la composición granulométrica de los suelos Ferralíticos Rojos en dependencia de su manejo.**

Sitio	Wh %	$\rho$ Mg/cm <sup>3</sup>	Fracciones, en mm			
			2.0 – 0.2	0.2 – 0.02	0.02 – 0.002	< 0.002
<b>Arboretum</b>	13,90 ±0,09	2.57 ±0.01	2.31 ±0.17	39.91 ±4.72	20.91 ±0.88	36.86 ±3.90
<b>Finca de frutales</b>	13,45 ±0.13	2.60 ±0.02	4.84 ±1.74	47.07 ±0.65	15.59 ±0.48	32.48 ±1.41
<b>Huerto casero</b>	11.32 ±0.19	2.72 ±0.17	3.00 ±0.07	46.79 ±0.95	12.96 ±0.38	36.96 ±1.36
<b>Finca Convencional</b>	8.71 ±0.24	2.82 ±0.01	2.67 ±0.31	42.95 ±1.30	9.75 ±0.74	44.61 ±1.56

La capacidad de formar complejos organo – minerales, bastante reducida en estos suelos, lo que provoca que las fracciones húmicas libres se degraden rápidamente (Delgado, 1987), se debilita aún más con el laboreo continuo e intensivo, debido a que se acelera el proceso de oxidación de los residuos orgánicos (Ortega, 1979). De ello resulta que la capacidad de las partículas < 0.002 mm para formar microgregados estables de primer orden se limita, trayendo consigo un incremento de la dispersión (Tabla 4).

**Tabla 4. Variación en la composición de microagregados de los suelos Ferralíticos Rojos en dependencia de su manejo.**

Sitio	Fracciones, en mm				Kd %
	2.0 – 0.2	0.2 – 0.02	0.02 – 0.002	< 0.002	
Arboretum	54.89±2.3 4	33.58±2.1 0	7.80±1.01	4.0±0.8	10.85
Finca de frutales	69.26±2.5	20.82±1.2 9	6.23±0.78	3.67±0.8 4	11.29
Huerto casero	52.74±1.6 4	38.10±2.1 1	4.70±0.32	4.44±0.3 7	12.01
Finca Convencional	16.12±2.5 4	60.83±2.0 8	8.40±1.14	15.63±0. 71	35.03

Por lo tanto, la formación de estructuras agrónomicamente valiosas se hace inestable, y se produce un incremento de los agregados menores de 0.25 mm (Fig. 1), lo que favorece los procesos de erosión, compactación y mal drenaje. Se ha encontrado una relación altamente significativa entre la estabilidad estructural del suelo Ferralítico Rojo y el contenido de materia orgánica (Fig. 2)

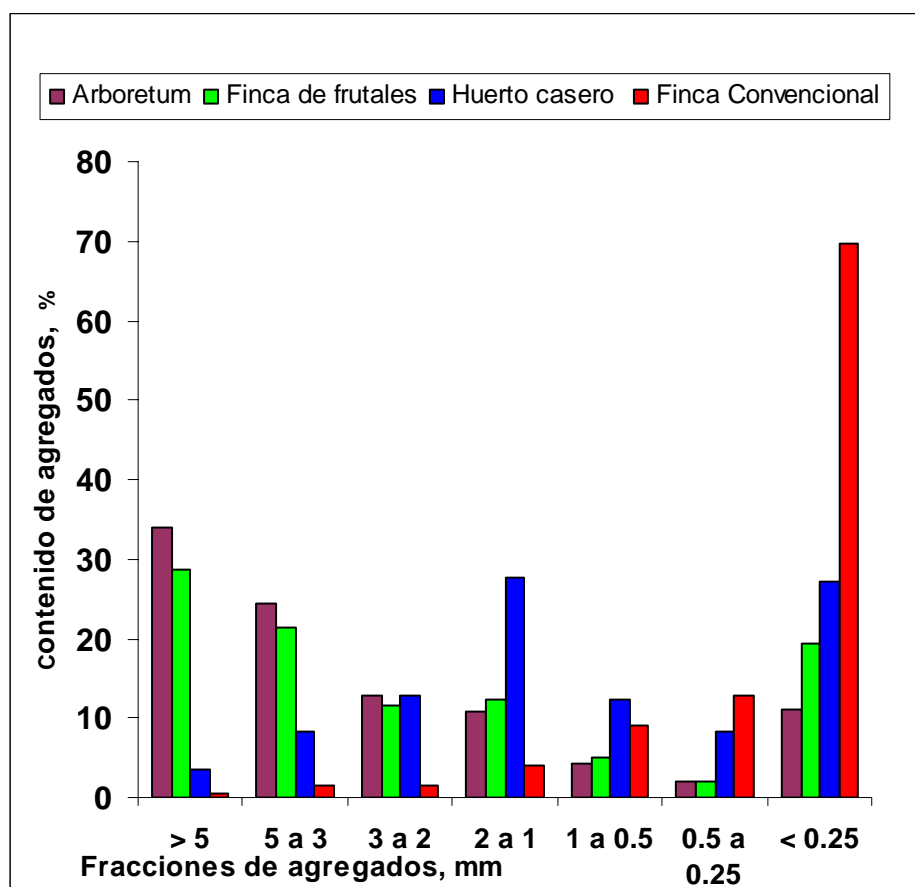


Fig. 1. Variación de la resistencia hídrica de los agregados del suelo Ferralítico Rojo en dependencia de su manejo

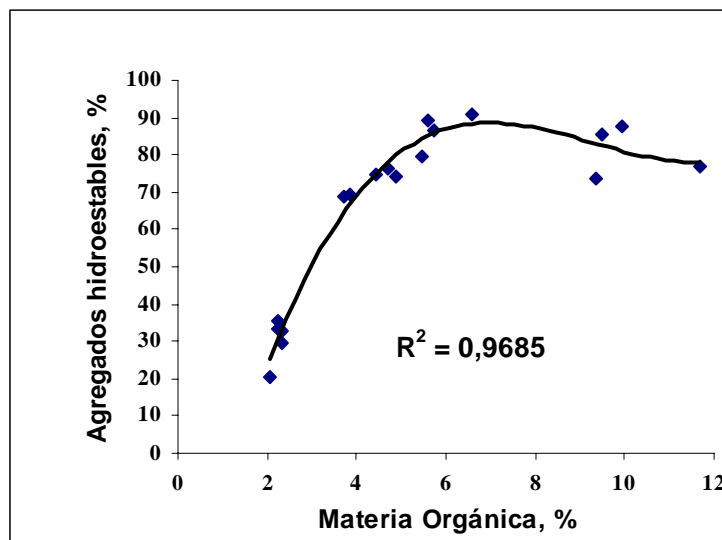


Fig. 2. Relación entre la estabilidad estructural de los suelos Ferralíticos Rojos y el contenido de materia orgánica.

Las características de retención de humedad para cada una de las fracciones de agregados indican una mayor capacidad a favor de los sistemas mejor conservados, condicionados por el contenido de materia orgánica. (Figuras 2 y 3). Se manifiesta una mayor reserva de humedad en los tamaños mas finos, particularmente a tensiones, a las cuales el agua se retiene mas fuertemente y se hace mas dificil ser asimilada por las plantas. Todo ello provoca que en los suelos donde predominan los agregados mas pequeños se refuercen los procesos de degradación del suelo.

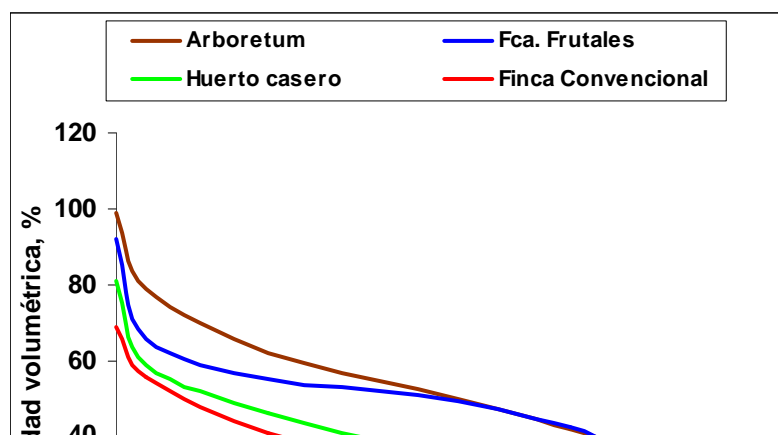


Fig. 3. Variación de la retención de humedad para la fracción de agregados 5-3 mm

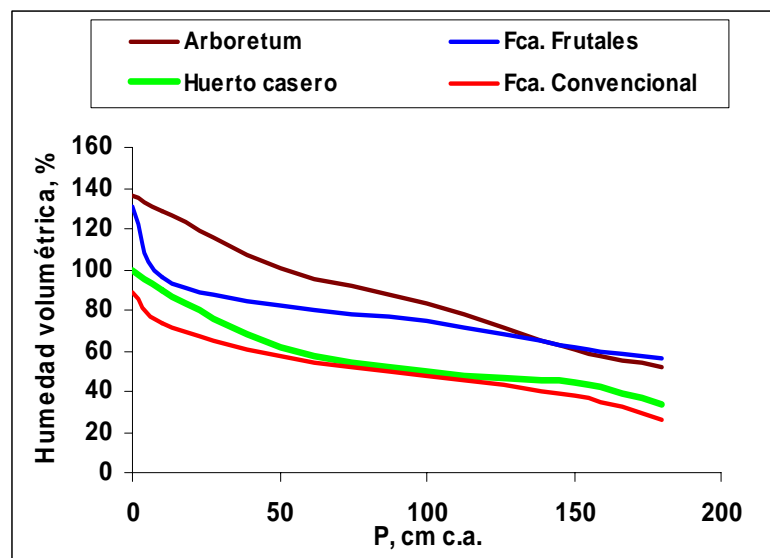


Fig. 4. Variación de la retención de humedad para la fracción de agregados <0.25mm

El predominio de macroagregados de tallas menores condiciona una consistencia mas sólida y compacta, que trae consigo una reducción de la porosidad total del suelo (Tabla 5), síntomas que se reflejan a nivel de horizonte. Para los suelos Ferralíticos Rojos se ha demostrado que cuando la densidad del suelo rebasa los valores de  $1.25 - 1.29 \text{ Mg/m}^3$  se restringe marcadamente el desarrollo radical de los cultivos.

Tabla 5. Variación de la densidad y porosidad en los suelos Ferralíticos Rojos de estudio

Sitio	Humedad natural (%)	Densidad del suelo (Mg/m <sup>3</sup> )	Porosidad total (%)
<b>Arboretum</b>	38.88±0.77	1.02±0.01	60.26
<b>Finca de frutales</b>	38.97±2.13	1.02±0.03	60.72
<b>Huerto casero</b>	26.96±0.58	1.10±0.01	59.58
<b>Finca Convencional</b>	15.94±0.91	1.32±0.02	53.02

La construcción física del suelo a nivel de horizonte, condicionada por el tamaño, forma, correlación cuantitativa, carácter de interacción y distribución, tanto de las partículas elementales como de los agregados que ellas componen (Voronin, 1986), como resultado de los procesos geoquímicos, biológicos y físicos que ocurren a nivel iónico-molecular, y que puede ser modificada a favor o en contra por el uso y manejo, dan lugar a la formación del perfil del suelo. Todo ello se manifiesta en la permeabilidad hídrica del suelo. Los Ferralíticos Rojos en condiciones naturales se han caracterizado por una elevada capacidad de infiltración, sin embargo en el sistema de manejo convencional, se reduce drásticamente en la primera hora (Fig. 5).

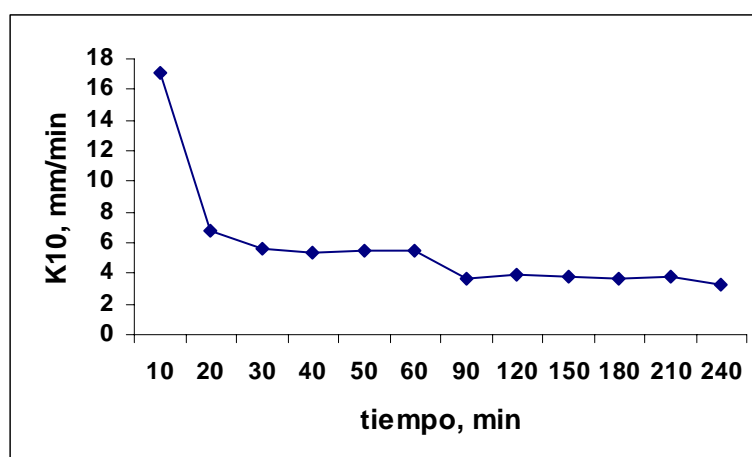


Fig. 5. Coeficiente de infiltración del suelo Ferralítico Rojo bajo manejo convencional

Según se planteó en la Agenda 21 en 1992, una elevada biodiversidad (número de especies presentes en el ecosistema) es sinónimo de mejor calidad del suelo, por lo que ella ha sido considerada como componente clave para la estabilidad y funcionamiento del suelo (Janvier *et al.*, 2007). A partir de la comparación de los índices de diversidad calculados para cada sistema, resultó que en el ecosistema natural se logra alcanzar una elevada organización, y se regula y estabiliza la función global del sistema, sin embargo, en el ecosistema antropizado, donde no se practica la agrodiversidad y se emplea una gran cantidad de energía externa que no forma parte de los procesos naturales, se degrada intensamente con un

exceso de producción de entropía, convirtiendo el sistema en fuertemente vulnerable y alejándolo del equilibrio (Tabla 6).

Tabla 6. Variación de la diversidad de especies en los ecosistemas sobre suelos Ferralíticos Rojos, en dependencia de su manejo.

Sitio	M O %	H'	R
<b>Arboretum</b>	5.96	3.46	39.39
<b>Finca de Frutales</b>	9.18	3.03	18.20
<b>Huerto casero</b>	4.31	3.02	10.57
<b>Finca Convencional</b>	<b>2.24</b>	<b>1.02</b>	<b>3.57</b>

**M O:** Materia orgánica, %; **H':** Índice de diversidad de Shannon – Weaver;

**R:** Índice de riqueza de Margalef

La comparación transversal de las principales variables edáficas y paisajísticas estudiadas para los diferentes sistemas desarrollados sobre suelos Ferralíticos Rojos de la Provincia de La Habana reflejó cambios estructurales evidentes con el manejo de ellos (Fig. 6),

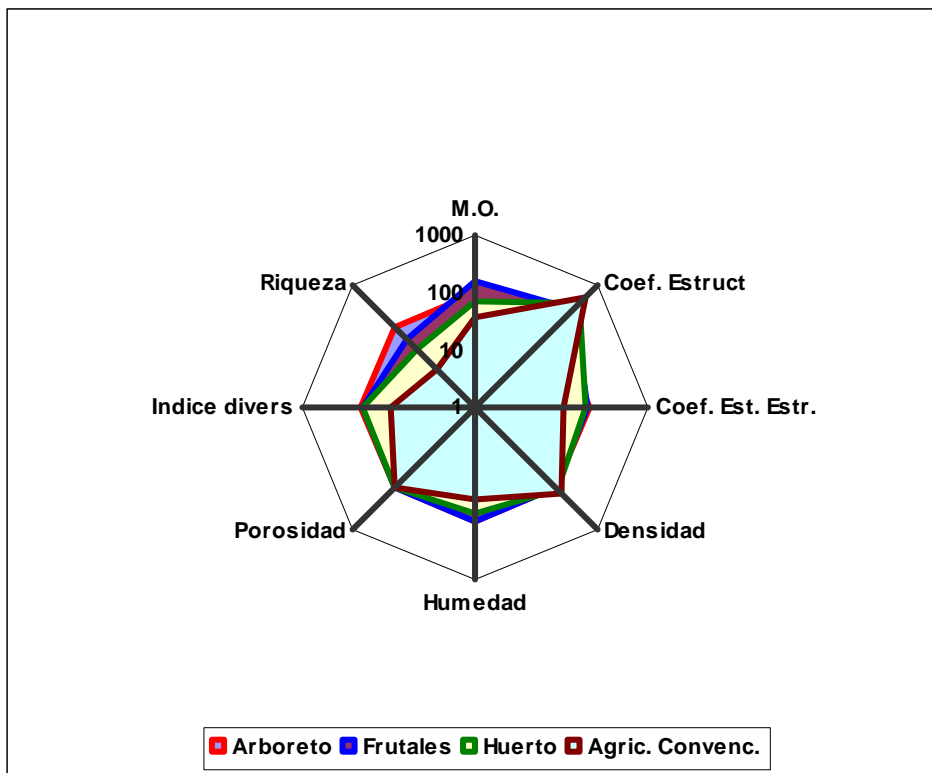


Fig. 6. Comparación de variables edáficas y paisajísticas entre sistemas agrícolas y bosque, en escala logarítmica.

lo que permitió asumir criterios para proponer indicadores operativos y establecer *a priori* valores límites permisibles para estos suelos (Tabla 7):

Tabla 7. Valores umbrales de los indicadores edáficos propuestos para suelos Ferralíticos Rojos de la Provincia La Habana

Indicadores	Valor umbral
Riqueza de especies, %	No menor de 10
<b>Contenido de Materia Orgánica en la capa arable, %</b>	<b>No menor de 70 % en base a condiciones vírgenes</b>
Coeficiente de dispersión del suelo (Kd) en la capa arable, %	No mayor de 20
Agregados hidroestables (> 0.25 mm), %	No menor de 60
Coeficiente de infiltración en la primera hora de observación, mm/h	No menor de 50
Humedad a 180 cm c.a. , en % de volumen	No menor de 60

## CONCLUSIONES

El estado físico de los suelos Ferralíticos Rojos estudiados experimentan modificaciones en cada nivel de organización estructural del suelo bajo condiciones de manejo intensivo del agroecosistema.

La materia orgánica, la resistencia hídrica de los agregados y la velocidad de infiltración del agua en el suelo son los parámetros que mas se afectan bajo condiciones de manejo intensivo de los suelos Ferralíticos Rojos.

El índice de riqueza de Margalef, el contenido de materia orgánica, el coeficiente de dispersión, el porcentaje de agregados hidroestables, el coeficiente de infiltración en la primera hora de observación y la capacidad de retención de humedad en el suelo son los principales indicadores edáficos y biológicos propuestos para medir el nivel de degradación física de los suelos Ferralíticos Rojos.

## REFERENCIAS

- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M. y Etchevers-Barra, J. (2002): "Derivación de indicadores de calidad de suelos en el Contexto de la agricultura sustentable". *Agrociencia* 36: 605-620
- Delgado, R. (1987): "Estado físico de los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba". Documento de tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana, Instituto de Suelos (inédito).
- Doran, J. W., D. C. Coleman, D. C. Bezdicek, and B. A. Stewart (eds) (1994): "Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment". Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA. 244 p.

- Janvier, C. , F. Villeneuve, C. Alabouvette, V. Edel-Hermann, T. Maitellec and C. Steinberg (2007): Soil health through soil disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators? Review. *Soil Biology & Biochemistry* 39, pp. 1–23
- Manlay, R.J., Feller, C. and Swift, M.J. (2007): “Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems”. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 , pp. 217–233
- Orellana Gallego, R. y Moreno Alvarez, J.M.( 2001), “Susceptibilidad de los suelos cubanos a la degradación”, *Memorias XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo, Centro de Convenciones Plaza América, Varadero, Cuba, 11-16 Noviembre.*
- Ortega Sastriques, F. (1979): “La materia orgánica de los suelos y el humus de los principales suelos de Cuba”. La Habana, Ed. Academia, 45 pp.
- Rozanov, B.G. (1984): “Bases para el estudio del medioambiente” (en ruso). Moscú, Ed. MGU.
- Voronin, A.D. (1984): “Hidrofísica estructuro-funcional de los suelos” (en ruso). Moscú, Ed. MGU.
- Voronin, A.D. (1986): “Física de suelos” (en ruso). Moscú, Ed. MGU.