

# Análisis multivariado de las propiedades de un suelo ferralítico rojo (oxisol), como base para la selección de indicadores de calidad

## Multivariate analysis of oxisol soil properties for selection of soil quality indicators

Ariany Colás Sánchez<sup>1</sup>, Pedro Cairo Cairo<sup>1</sup>, Joaquín Machado de Armas<sup>2</sup>, Yanetsy Ruiz González<sup>2</sup>, Pedro Torres Artilés<sup>1</sup>, Arnaldo Dávila Cruz<sup>1</sup>.

1. Centro de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Teléfono: 28 1520

2. Departamento de Agronomía. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.

E-mail: [arianycs@uclv.edu.cu](mailto:arianycs@uclv.edu.cu)

**RESUMEN.** Las propiedades químicas y físicas del suelo pueden ser consideradas como posibles indicadores de su calidad. El objetivo de la investigación fue seleccionar mediante el análisis multivariado, indicadores de calidad para los suelos ferralíticos rojos de la región central de Cuba. El trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones Agropecuarias, sobre un suelo ferralítico rojo compactado tomado del municipio de Remedios. El muestreo se llevó a cabo a la profundidad de 0-20 cm y se establecieron 5 experimentos en condiciones controladas: dosis de fosforita, combinaciones de compost y minerales naturales, abonos órgano-minerales, dosis de gallinaza, caliza fosfatada y su combinación con zeolita, compost, cachaza y ceniza; utilizando como planta indicadora el maíz (*Zea mays* L.). Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete de programas profesional *STATGRAPHICS Plus* Versión 4.1 y *SPSS* ver. 8.0 sobre Windows 2000. Los resultados obtenidos revelaron que los indicadores más adecuados para diagnosticar la calidad de los suelos ferralíticos rojos fueron: permeabilidad (log 10k 2.4), agregados estables (74 %), factor de estructura (75 %) y el límite inferior de plasticidad (27 %hbss).

**Palabras clave:** Calidad del suelo, indicadores.

**ABSTRACT.** The chemical and physic properties can be considered as possible soil quality indicators. The objective of the present investigation was to select, by means of the multivariate analysis, soil quality indicators of Oxisol soils of the central region of Cuba. The work was carried out in the Agricultural Research Institute (CIAP); on Oxisol soil taken from Remedios municipality. The sampling was carried out to the depth of 0-20 cm and 5 experiments was developed under controlled conditions: phosphoric rock doses, compost combinations and natural minerals, organic-minerals fertilizers, chicken manures dose and calcareous phosphate rock and their combination with zeolite, compost, sugar cane filter cake and ash; using maize as indicative plant (*Zea mays* L.). For the statistical prosecution the package of professional programs *STATGRAPHICS Plus* Versión 4.1 y *SPSS* ver. 8.0 on Windows 2000 were used. The obtained results revealed that the most appropriate indicators to diagnose the quality of the Oxisol soils were: permeability (log 10k 2.4), stable aggregates in water (74%), structure factor (75%) and the inferior limit of plasticity (27% hbss).

**Key words:** Quality of soil, indicators.

## INTRODUCCIÓN

En Cuba, los suelos ferralíticos constituyen un gran potencial agrícola (Gounou, 1997). Estos han sido estudiados por diferentes investigadores (Camacho, 1984; Frómata, 1988; Alonso, 1997). Sin embargo, en los últimos años el manejo a que han sido sometidos ha producido afectaciones en sus propiedades físicas como se ha podido comprobar en las Empresas de Cultivos Varios y en áreas

cañeras, provocando disminuciones significativas en los rendimientos de los cultivos.

Para Pineda (2002) los suelos ferralíticos rojos poseen limitaciones agrícola por su acidez, muchas veces por debajo de 5,5 de pH, ligado a la compactación y riesgos de erosión por su degradación física.

Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre

la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles constituye una de las principales finalidades de la moderna ciencia del suelo (Dalurzo *et al.*, 2002). Stemberg (1998) al evaluar aspectos físicos, químicos y biológicos de los suelos destacó la importancia de las técnicas de análisis multivariado (componentes principales), las cuales facilitaron la clasificación de los suelos en tres categorías: buena, normal y baja calidad. Wander y Bollero (1999) también utilizaron análisis multivariado para evaluar cambios en la calidad de los suelos por efecto de la siembra directa.

Teniendo en cuenta lo anterior nuestra investigación estuvo encaminada a: seleccionar mediante el análisis multivariado indicadores de calidad para los suelos ferralíticos rojos de la región central de Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones Agropecuarias, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

El sustrato utilizado en el estudio fue un suelo ferralítico rojo compactado tomado de un área de explotación intensiva perteneciente a la empresa de Cultivos Varios Remedios. El muestreo se realizó a la profundidad comprendida entre los 0-20 cm, el suelo fue secado al aire y tamizado (4 mm).

Los experimentos se realizaron en condiciones controladas, utilizando como planta indicadora el maíz (*Zea mays L.*). El suelo se mantuvo al 80 % CC; luego de transcurridos 35 días después de la germinación, las plantas fueron cortadas y se les determinó: altura (cm), peso fresco (g) y peso seco (g).

El suelo de las bolsas se secó al aire libre, una parte de este fue tamizado por, un tamiz de 0,5 mm para realizar los análisis químicos y el resto por un tamiz de 2 mm para realizar los análisis físicos. El diseño experimental utilizado fue el completamente aleatorio. Los experimentos realizados fueron:

**Experimento 1** (0, 2, 4, 6, 8 y 10  $\text{tha}^{-1}$  de Fosforita).

**Experimento 2** [Testigo, NPK (75, 35 y 110  $\text{kgha}^{-1}$ ),

Compost 4  $\text{tha}^{-1}$  + (Zeolita 4  $\text{tha}^{-1}$ , Caliza fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$ , Fosforita 4  $\text{tha}^{-1}$ , Ceniza 10  $\text{tha}^{-1}$ ,  $\text{CO}_3\text{Ca}$  4  $\text{tha}^{-1}$  y Dolomita 4  $\text{tha}^{-1}$ )].

**Experimento 3** [Testigo, NPK (50-50-50  $\text{kgha}^{-1}$ ), Compost + Zeolita, Compost + Dolomita, Humus + Zeolita, Humus + Dolomita, Cachaza + Zeolita, Cachaza + Dolomita] se establecieron las siguientes combinaciones aplicando de cada una 4  $\text{tha}^{-1}$  (3:1).

**Experimento 4** (0, 2, 4, 6, 8, 10  $\text{tha}^{-1}$  de Gallinaza).

**Experimento 5** [Testigo, NPK (75-35-110  $\text{kgha}^{-1}$ ), Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$ , Caliza Fosfatada 4  $\text{tha}^{-1}$  + K, NK, NPK, Cachaza 50  $\text{tha}^{-1}$ , Compost 4  $\text{tha}^{-1}$ , Ceniza 10  $\text{tha}^{-1}$ , Zeolita 4  $\text{tha}^{-1}$ ].

## Análisis realizados

### Análisis Químicos

**pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y pH (KCl)** (método potenciométrico con una relación suelo-solución 1:2,5),  **$\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$  asimilables** (Oniani), **Materia Orgánica** (colorimetría según Walkley y Black).

### Análisis Físicos

**Coefficiente de Permeabilidad ( $\log 10k$ )** Método de Henin *et al.* (1958) citado por Cairo y Fundora (1994). **Factor de estructura (FE)**, Según Vageler y Alten citado por Cairo (2000). **Agregados Estables al Agua (AE)**: según Henin *et al.* (1958) citado por Cairo y Fundora (1994). **Límite Superior de Plasticidad (LSP)**: mediante el método del Cono de Balancín de Basilev. **Límite Inferior de Plasticidad (LIP)**: mediante el método de los rollitos de Atterberg. **Índice de plasticidad (IP)**: se determina por la diferencia numérica entre los límites superior e inferior.

## Propiedades del suelo

Respuesta de las propiedades:

- Con la degradación
- Con el mejoramiento
- Con los indicadores de crecimiento de las plantas indicadoras.

Significación de las propiedades en el procesamiento

estadístico

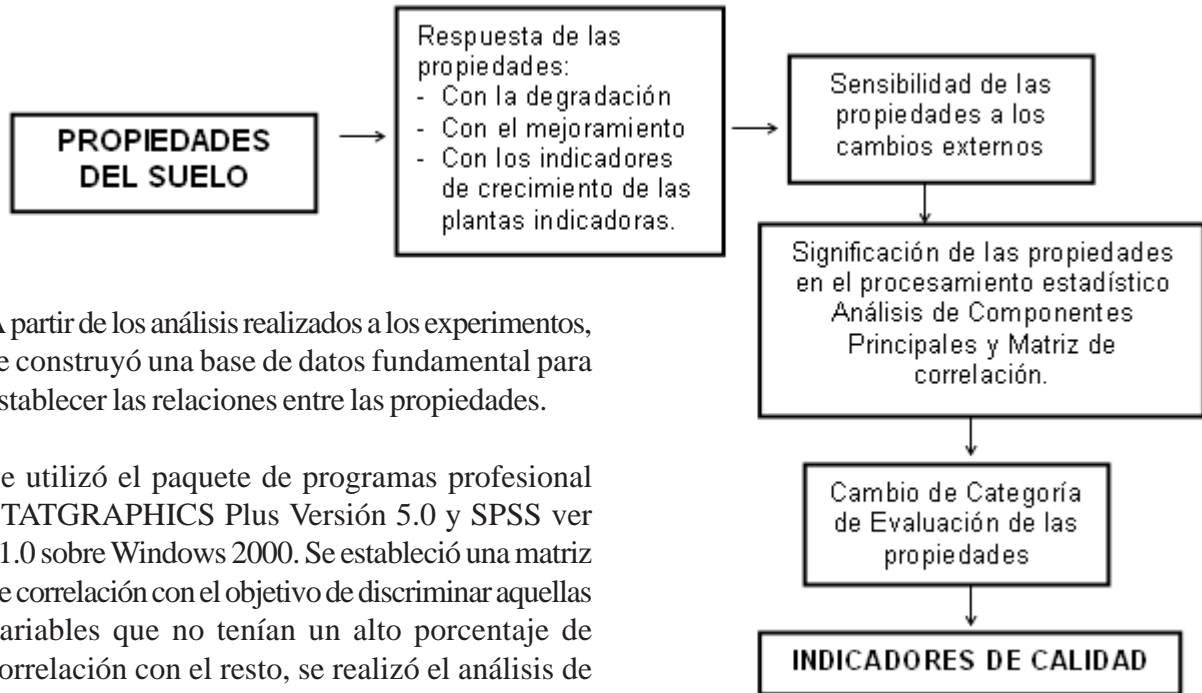
Análisis de Componentes Principales y Matriz de correlación.

Sensibilidad de las propiedades a los cambios externos

Cambio de Categoría de Evaluación de las propiedades

La metodología utilizada para la selección de los indicadores fue la propuesta por Morales y Díaz (2003) y Reyes (2006).

**Indicadores de Calidad**



A partir de los análisis realizados a los experimentos, se construyó una base de datos fundamental para establecer las relaciones entre las propiedades.

Se utilizó el paquete de programas profesional STATGRAPHICS Plus Versión 5.0 y SPSS ver 11.0 sobre Windows 2000. Se estableció una matriz de correlación con el objetivo de discriminar aquellas variables que no tenían un alto porcentaje de correlación con el resto, se realizó el análisis de componentes principales y se establecieron análisis de regresión, para determinar la relación existente entre las propiedades y el grado de dependencia entre las mismas.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la experiencia realizada con las diferentes alternativas de mejoramiento se logra en sentido general, que los indicadores físicos FE, LIP, AE y log 10k se ubiquen en el primer componente, para el caso del experimento en que se aplican las dosis de fosforita, se logra agrupar a todos los indicadores en un mismo componente, que representa el 85,87 % de la varianza total; sobresalen log 10k, FE, LIP y la altura, respectivamente, con valores de coeficiente de correlación de las variables con el componente por encima del 95 %, lo cual concuerda con los altos coeficientes de correlación existentes entre la altura y estos indicadores de crecimiento (Figuras 2-4). Además, demuestra que dichos parámetros tienen una alta sensibilidad a los cambios

originados en el suelo y por consiguiente su estudio puede dar criterios sobre la calidad de este tipo de suelo. La altura ocupa un lugar representativo en este componente poniéndose de manifiesto lo planteado por Torstensson *et al.* (1998) quienes afirman que aunque los rendimientos de los cultivos no dependen únicamente de los factores de la calidad del suelo, se mejoran notablemente cuando son optimizados los indicadores que pueden estar afectados junto con medidas a corto plazo.

Lo mismo sucede con el experimento en el que se aplican las combinaciones de abonos orgánicos y minerales naturales con el compost, para este caso el primer componente está encabezado por los

indicadores físicos con 59,14 % de la varianza total, constituye ello un elemento que corrobora que tanto el FE, LIP, AE y log 10k pueden ser considerados indicadores de calidad del suelo ferralítico rojo compactado, dada su sensibilidad bajo la aplicación de las diferentes enmiendas. Al respecto, Singer y Ewing (2000) expresan que las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente. Para el caso del experimento en el que se aplican las combinaciones órgano-minerales se obtienen resultados muy similares.

En el análisis de componentes principales para el experimento de niveles de gallinaza se agrupan dos componentes que explican un 77,58 % de varianza total, en el primer componente sobresalen los indicadores físicos, con un 58,59 % de la varianza (Tablas 1 y 2).

**Tabla 1. Componentes principales experimento dosis de gallinaza**

Componente	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5,273	58,591	58,591
2	1,709	18,985	77,576

**Tabla 2. Matriz de Componentes principales experimento dosis de gallinaza**

	Componentes	
	1	2
LIP	.957	
AE	.950	
FE	.889	
log 10k	.867	
IP	-.864	
pH(KCl)	.750	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.687	
LSP		.843
K <sub>2</sub> O		.795

León (2003) demostró que la aplicación de materia orgánica, en este caso la gallinaza, influyó positivamente en el estado estructural del suelo incrementando significativamente el índice de permeabilidad así como los agregados estables al agua con respecto al estado inicial, resultados muy similares a los obtenidos en esta investigación.

Stemberg (1998) al evaluar aspectos físicos, químicos y biológicos de los suelos destacó la importancia de las técnicas de análisis multivariado

(componentes principales), las cuales facilitaron la clasificación de los suelos en tres categorías: buena, normal y baja calidad. Wander y Bollero (1999) también utilizaron análisis multivariado para evaluar cambios en la calidad de los suelos por efecto de la siembra directa.

Para el caso del experimento en que se aplica la caliza fosfatada combinada con materiales orgánicos y fertilizantes, se agrupan 3 componentes que explican el 82 % de la varianza total del experimento (Tablas 3 y 4). En el primer componente sobresalen FE, LIP, AE y log 10k en el que se agrupa el 52,87 % de la varianza, demostrando ello que estos indicadores se ven notablemente influenciados por el efecto de los tratamientos. Se manifiesta nuevamente lo expresado por Bolinder *et al.* (1999), quienes señalaron que la respuesta que se obtiene de distintos indicadores de la calidad del suelo a diferentes prácticas de manejo resulta clave para identificar aquellos más sensibles. Todos estos criterios demuestran que estas propiedades pueden ser seleccionadas como indicadores de calidad para estos suelos y lo indicado por Bautista (2001), quien propuso como indicadores de calidad del suelo, en bosques mesófilos de la Sierra Norte de Oaxaca, a las propiedades que resultaron tener un mayor peso dentro de un análisis de componentes.

**Tabla 3. Componentes principales experimento con niveles de caliza fosfatada**

Componente	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4,758	52,869	52,869
2	1,516	16,845	69,713
3	1,179	13,102	82,815

**Tabla 4. Matriz de componentes experimento con niveles de caliza fosfatada**

	Componentes		
	1	2	3
log 10k	.945		
LIP	.938		
FE	.905		
AE	.891		
pH(H <sub>2</sub> O)	-.788		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.715		
pH (KCl)		.774	
K <sub>2</sub> O		.635	
% MO			-.740

Las ecuaciones y valores de R<sup>2</sup> entre 0,85-0,94 % expresan la relación positiva existente, entre los indicadores de crecimiento de las plantas de maíz y el Límite Inferior de Plasticidad, Factor de Estructura e Índice de Permeabilidad al aplicar los diferentes niveles de fosforita (Figuras 1-4).

En sentido general la altura de la planta muestra una tendencia al aumento a medida que se incrementan los indicadores físicos, cuando se relaciona con la permeabilidad, los mayores aumentos se logran con valores por encima de 2,4 (índice evaluado como excelente), en el caso del factor de estructura con valores muy cercanos al 80 % y para el límite inferior de plasticidad alrededor de 29 %; lo cual evidencia

que las mejoras en las condiciones estructurales del suelo influyen sobre el buen desarrollo de la planta, lo mismo ocurre para el caso del peso fresco en todos los tratamientos en que se aplica la fosforita.

Nuestros resultados concuerdan con los obtenidos por Crespo y Fraga (2005) en un estudio sobre el efecto del fertilizante mineral y orgánico en el mejoramiento de un campo forrajero de King grass (*Pennisetum purpureum* \* *P. thiphoideo*), en un suelo ferralítico rojo, lograron aumentos notables en la altura y demostraron que aplicando 25 t/ha de abonos orgánicos + fertilizante mineral, se logra aumentar los rendimientos del cultivo, así como el contenido de MO, N y K en el suelo.

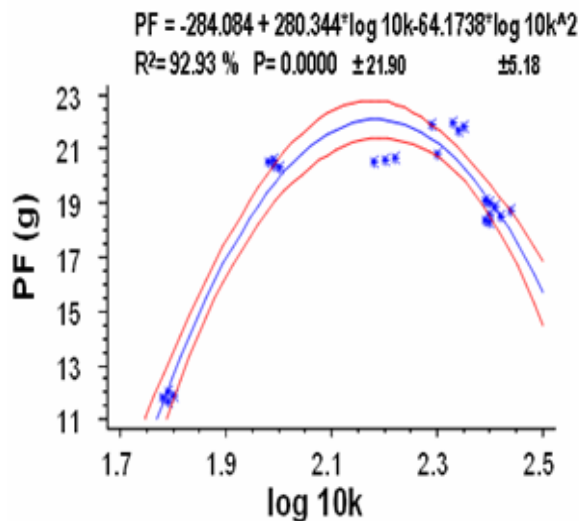


Figura 1. Relación entre Peso Fresco y Permeabilidad (log 10k)

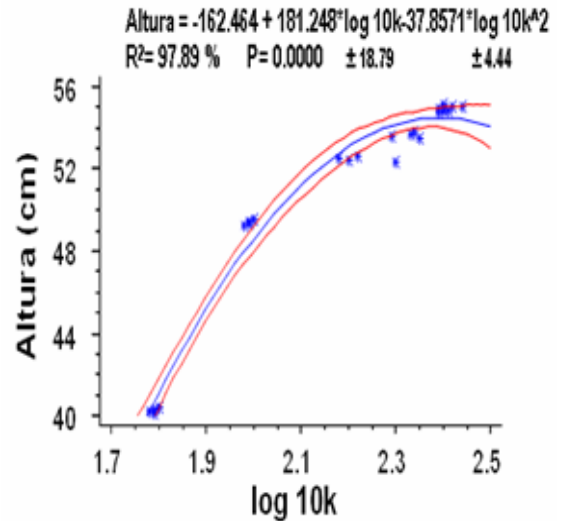


Figura 2. Relación entre Altura y Permeabilidad (log 10k)

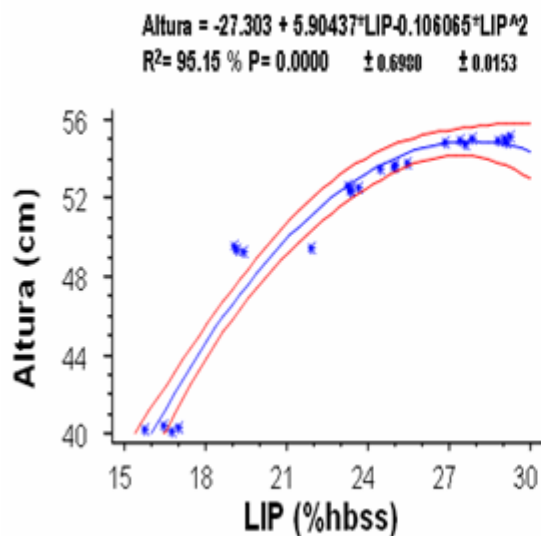


Figura 3. Relación entre la Altura y el Límite Inferior de Plasticidad

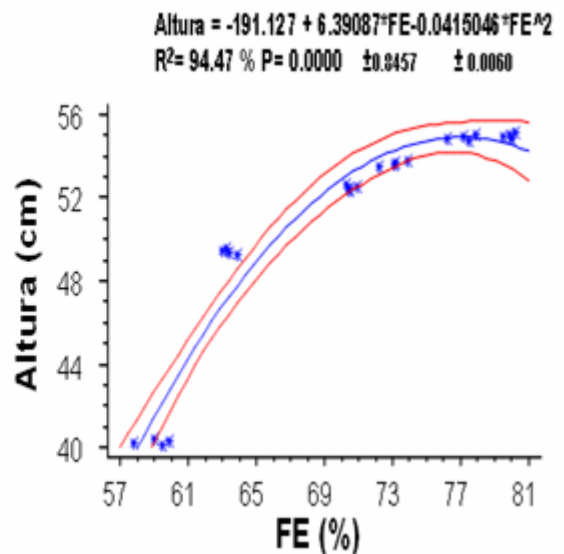


Figura 4. Relación entre la Altura y el Factor de Estructura

Para la determinación de estos indicadores de calidad fueron tenidas en cuenta las consideraciones siguientes:

1. Sensibilidad a los cambios originados en el suelo.
2. Alto grado de relación con el resto de indicadores evaluados en la matriz.
3. Las relaciones entre las propiedades y con los componentes de las plantas indicadoras.
4. Posición de las propiedades por componentes y su coeficiente de correlación de las variables con el componente.

A partir de este análisis se seleccionaron 4 indicadores de calidad para el suelo objeto de estudio, ellos fueron: permeabilidad (log 10k), agregados estables (%), factor de estructura (%) y el límite inferior de plasticidad (%hbss), los cuales constituyen elementos importantes para diagnosticar este tipo de suelo. Esta decisión surge como resultado de los análisis realizados para los diferentes experimentos y el efecto de las diferentes enmiendas sobre las propiedades y los indicadores del crecimiento de las plantas; así como los valores de  $R^2$  alcanzados en las relaciones entre las propiedades, conjuntamente con los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales.

Los valores claves escogidos para la confección del diagrama de calidad (Figura 5), incluyen la selección de las mejores alternativas para minimizar los problemas degradativos del suelo estudiado y para lograr la calidad del recurso suelo y deben estar en un rango de: (FE 75 %, log 10k 2,4, AE 74 % y LIP 27 % hbss). Tomando como ejemplo el FE sería importante señalar que cuando este indicador alcanza su máximo valor (80 %), corresponde siempre con valores elevados del resto de los indicadores que se relacionan con el mismo; al igual que para el caso de los indicadores de crecimiento de las plantas, se corresponden los valores mayores de la altura cuando este indicador alcanza valores entre el 70 y el 80 %. Este indicador en todos los casos en que se aplican las alternativas, logra alcanzar la categoría de bueno (65-80 %) y excelente (80-100 %), con respecto a regular en el testigo.

## CONCLUSIONES

1. Los estudios realizados en los suelos ferralíticos rojos compactados demuestran que los indicadores más adecuados para diagnosticar su calidad son: Permeabilidad (log 10k 2,4), Agregados Estables (74 %), Factor de Estructura (75 %) y el Límite Inferior de Plasticidad (27% hbss).
2. Las propiedades químicas evaluadas en el estudio no mostraron gran sensibilidad ante los cambios producidos en el suelo objeto de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALONSO, CARMEN: Influencia de tres sistemas de cultivo en algunas propiedades físicas de suelos Ferralíticos Rojos. Tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, UNAH 85 pp., 1997.
2. BAUTISTA C., M. A.: Indicadores de calidad del suelo en tres cronosecuencias de bosque mesófilo, Sierra Norte, Oaxaca. Tesis MC. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, 2001.
3. BOLINDER, M.; D. ANGERS; E. GREGORICH AND M. CARTER: "The response of soil quality indicators to conservation management," *Canadian Journal of Soil Science* 79:37-45, 1999.
4. CAIRO P.: "Alternativas para el mejoramiento de los suelos para el cultivo de la caña," *Revista Agricultura Orgánica*, pp. 23-25, 2000.
5. CAIRO, P Y O. FUNDORA: Edafología, Ed. Pueblo y Educación., Ciudad de La Habana, 475pp., 1994.
6. CAMACHO, E.: Propiedades físicas, hidrofísicas y físico química de los suelos Ferralíticos Rojos compactados de Cuba, *Ciencias Agrícolas*, pp. 89-99, 1984.
7. CRESPO, G Y S. FRAGA: "Efecto de la aplicación superficial de fertilizante mineral y abono orgánico en la recuperación de un campo forrajero de Pennisetum purpureum cv. king grass," *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, tomo 39, número 3, 2005.
8. DALURZO, H. C.; R. C. SERIAL; S. VÁZQUEZ Y S. RATTO: Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina), 2002.

9. FRÓMETA, E Y M.A. TARAWALLY: Comportamiento de algunas propiedades física de un suelo compactado. XI Seminario Científico Int. Taller Abiótico. 17-20 de nov., 1988.

10. GOUNOU, E.: Enfoque morfoedafológico en el estudio de la variabilidad de los suelos ferralíticos y subtipos asociados a un geosistema cársico de La Habana. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícola, UNAH, 103 pp., 1997.

11. LEÓN, G.J.: Manejo ecológico de un suelo Pardo Grisáceo (Inseptisol) degradado. Tesis presentada en opción al título de Máster en Agricultura Sostenible, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV, Cuba, 2003.

12. MORALES, MAYELIN Y B. DÍAZ: La materia orgánica y el estado de fertilidad de los suelos pardos con carbonatos bajo diferentes sistemas de manejo, Tesis de Maestría, FCA, UCLV, 2003.

13. PINEDA, EMMA: Factores asociados con la respuesta de la caña de azúcar a los fertilizantes minerales, Tesis de Doctorado, INICA, 2002.

14. REYES, A.: Indicadores de calidad de suelo en áreas cafetaleras de Topes de Collantes. Tesis de Doctorado, FCA, UCLV, 2006.

15. SINGER, M. AND S. EWING: Soil Quality, en Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), pp. 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2000.

16. STEMBERG B.: "Soil attributes as predictors of crop production under standardized conditions," *Biology and Fertility of Soils* 27:104-112, 1998.

17. TORSTENSSON, L; M. PELL AND B. STENBERG: "Need of a Strategy for Evaluation of Arable Soil Quality.," *Journal Ambio* 37: 4-8, 1998.

18. WANDER, M. AND G. BOLLERO: "Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois," *Soil Science Society of America Journal* 63:961-971, 1999.

Recibido: 14/noviembre/2007

Aceptado: 26/abril/2008



Revista trimestral de Ciencia y Técnica de la Agricultura del Ministerio de Educación Superior de Cuba

Con 4 sesiones fijas de publicación de artículos científicos:

1. Artículos Científicos sobre Sanidad Vegetal, Mejora de Suelo, Agricultura, Agronomía, Biología Vegetal.
2. Agroecología.
3. Alelopatía y Sustancias Bioactivas.
4. Comunicaciones Cortas.

Centro Agrícola



1974-2008

*Más de 1580 publicaciones de Resultados de la Ciencia en Investigaciones Agrícolas...*