

NUEVOS APORTES SOBRE EL EFECTO DE LA DISMINUCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LOS SUELOS FERRALÍTICOS ROJOS LIXIVIADOS

Marisol Morales¹, Alberto Hernández², Francy Marentes², Fernando R. Funes- Monzote³, Yenia Borges², Fernando Morell², Dania Vargas² y Humberto Ríos²

¹Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”.

Calle 1, esq. 2, Santiago de las Vegas, Ciudad de La Habana, Cuba

²INCA. Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba

RESUMEN

Los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en provincia Habana han estado durante más de un siglo dedicado a la producción agrícola. Este proceso ha dado lugar a la disminución del contenido de materia orgánica en los mismos. Teniendo en cuenta ésta problemática y algunos resultados obtenidos por nosotros se desarrolló la investigación con el objetivo de brindar nuevos elementos que demuestran la importancia que tiene mantener un contenido adecuado de este componente específicamente en los suelos de composición ferralítica. Se estudiaron 5 perfiles de suelos en diferentes agroecosistemas representativos localizados (dos perfiles en San José de las Lajas, dos en Batabanó y uno en una finca ganadera de San Antonio de los Baños. Los resultados nos permitieron elaborar una hipótesis sobre el mecanismo de degradación del suelo por la disminución del contenido en materia orgánica, que provoca la ruptura de los microagregados, los agregados estructurales del suelo y la evolución de la arcilla dispersa reflejado a través del empeoramiento de las propiedades del suelo.

Palabras claves: Agroecosistemas, materia Orgánica, factor de dispersión y densidad aparente

ABSTRACT

Diminished effect of the organic matter on Red Lixiviated Ferrallitic soils

The Red Lixiviated Ferrallitic soils in Havana province had been by agriculture production during more one century. This process takes in account the depletion of the organic matter content in these soils. In this paper is studied the relationship between the soil organic matter content with some physical properties as the dispersion factor and bulk density in localities different. These results permitted us to develop an hypothese about the soil degradation process with the lower soil organic matter content and the breaking of soil microaggregate, the structure aggegates and the evolution of the disparse clay, that share in bearing the deterioration of soil properties.

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica es uno de los constituyentes más importantes del suelo, considerado como un indicador por excelencia de la sostenibilidad del sistema suelo-planta-hombre y de los cambios que se producen (Mata 2006; Tittonell y López 2007; Rodríguez *et al.*, 2007; Orellana *et al.*, 2007). Refleja la salud del ecosistema influyendo en las propiedades físicas, químicas y biológicas.

En condiciones tropicales por lo general se presentan contenidos bajos de este elemento, relacionado con el clima y en las regiones montañosas pérdidas por erosión a esto se une el manejo inadecuado y el cultivo intensivo que ha dado lugar a la degradación de los suelos (Morales *et al.*, 2003; Morales y Hernández, 2006). Según (Instituto de Suelos, 2001), en Cuba hay 4,66 millones de hectáreas (69,6% del territorio nacional) con muy bajo contenido en materia orgánica (menos de 2%).

En los Ferralíticos Rojos se plantea que la capacidad de formar complejos órgano-minerales es bastante reducida, lo que permite que las fracciones húmicas libres se degraden rápidamente (Delgado 1987), igualmente se ha visto que en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de Cuba hay degradación de las propiedades físicas y biológicas en relación con la disminución de la materia orgánica (Hernández y col. 2005; Hernández y col. 2006a y 2006b; Morrell y col. 2007). Teniendo en cuenta los resultados anteriores y otros nuevos obtenidos por nosotros, presentamos este trabajo, con el objetivo de brindar nuevos aportes para demostrar la importancia que tiene mantener un contenido adecuado de materia orgánica en los suelos y específicamente los de composición ferralítica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron cinco perfiles de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, en diferentes agroecosistemas localizados en la provincia Habana; cuatro de ellos con cultivos intensivos (dos perfiles en San José de las Lajas, dos en Batabanó y uno en una finca ganadera de San Antonio de los Baños con nueve parcelas muestreadas). La caracterización se realizó mediante los siguientes métodos analíticos:

PH por potenciometría, composición mecánica por el método de Bouyoucos modificado, usando pirofosfato para la eliminación de los microagregados, composición de microagregados por el método de Bouyoucos, sin utilizar reactivos químicos, Materia orgánica-Walkley y Black

Densidad aparente- Método de los cilindros en el campo

Coefficiente de dispersión (Kd), por cálculo según la relación entre el porcentaje de arcilla de microagregados y el porcentaje de arcilla del análisis mecánico, multiplicado por 100, cationes intercambiables por el método con acetato de amonio.

Todos los métodos analíticos expuestos anteriormente fueron analizados según el Manual de laboratorio para el análisis físico de los suelos y por el Manual de Técnicas analíticas (Paneque 2002).

Los resultados fueron evaluados y se determinaron las correlaciones entre los contenidos de materia orgánica y los coeficientes de dispersión así como con la densidad aparente, la evaluación estadística fue mediante el programa de Excel 2003.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En trabajos anteriores se pudo constatar que en suelos Ferralíticos Rojos y Ferralíticos Rojos Lixiviados ocurre la degradación de sus propiedades físicas y biológicas por el cultivo intensivo, acorde a la disminución del contenido en materia orgánica. Algunos autores han obtenido resultados teniendo en cuenta la relación entre la estabilidad estructural y el contenido de materia orgánica en estos suelos (Moreno, 2002; Alfonso y Monedero, 2004). Aunque en los últimos años se ha visto que entre los índices más importantes a considerar están el tipo de estructura del suelo, el coeficiente de dispersión y la actividad biológica y micorrízica (Borges 2004; Hernández *et al.*, 2006a y 2006b; Morrell *et al.*, 2007; Orellana *et al.*, 2007).

Indiscutiblemente que en estos suelos es importante el grado de estructura y su relación con el contenido en materia orgánica. Según (Jan, 1969) hay tres condiciones edafológicas que influyen en el grado de estructuración del suelo, que son: Las sustancias húmicas, el tipo de mineral arcilloso y los cationes intercambiables. Sin embargo, a pesar que este trabajo resulta un clásico en relación con la materia orgánica del suelo, no considera los problemas de estructura del suelo en regiones tropicales.

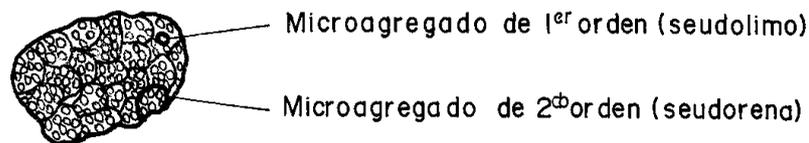
Agafonov (1981) reportó que en los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba tiene lugar la acción estabilizadora de las sustancias húmicas por el hierro amorfo, el cual se encuentra en condiciones relativamente altas en estos suelos.

Esto se corresponde con los criterios de Aarnio (citado por Verchinin, 1959), el cual plantea que por la interrelación de los óxidos de hierro con las sustancias húmicas ocurre la coagulación de estas sustancias cuando una parte de Fe_2O_3 interacciona con 2.27 hasta 0.93 partes de humus. Por su parte Cooper *et al.* (2005), confirma que las sustancias orgánicas pueden jugar un papel importante en la estructuración del suelo en dependencia de su composición cuantitativa, las

propiedades físico químicas y formas de enlazarse con la parte mineral del suelo. En fin, en los suelos Ferralíticos Rojos y Ferralíticos Rojos Lixiviados tanto el contenido de materia orgánica como de hierro pueden jugar un papel importante en la formación de estructura, forma y estabilidad de los agregados. Esto sucede cuando hay cierta relación en el contenido de estas sustancias, lo que se rompe cuando disminuye el contenido en materia orgánica en estos suelos, debido al cultivo intensivo la mayor parte de las veces.

Esta situación se confirma con los resultados (Belobrov, 1978), el cual plantea la importancia que tiene la formación de microagregados estables en suelos de composición ferralítica en Brasil, planteando además que los procesos relacionados con el cambio en el uso de la tierra y la deforestación afectan grandemente la formación de los microagregados en estos suelos.

Es decir, que es importante la formación de microagregados en estos suelos, los que se dividen en microagregados de primer orden (seudolimos) y segundo orden (seudorena), de acuerdo con la Figura 1.



Agregado del Suelo

Figura 1: Constitución de un Agregado estructural de suelo donde se muestra la microagregación de diferente orden.

Esta formación de microagregados y agregados estables en suelos Ferralíticos se cambia por el uso intensivo del suelo, que conlleva a las pérdidas de materia orgánica por oxidación y por tanto a la destrucción de los microagregados del suelo.

Según (Agafonov, 1981) en suelos Ferralíticos Rojos con alto factor de dispersión y bajo contenido en materia orgánica, la arcilla dispersa sigue dos caminos; uno es que se mueve lateralmente por la escorrentía o por el agua del riego, coincidiendo con el lavado frontal de la arcilla en estos suelos expuesto anteriormente por (Zonn, 1968) y el otro es que se lava verticalmente provocando la lixiviación del suelo. Por esto (Agafonov, 1981) coincide con (Zonn 1968) en que los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba de una forma u otra están lixiviados.

De acuerdo con los resultados obtenidos no son dos los caminos que sigue la arcilla dispersa, sino tres ya que además de los dos primeros, debe considerarse que esta arcilla que migra hacia la parte superior del horizonte B puede llenar los poros de los agregados de bloques subangulares en este horizonte, llegando a formar bloques de mayor tamaño y muy densos, hasta conformar verdaderos pisos de arado. Por lo que en estos suelos cuando están degradados pueden aparecer agregados de bloques grandes, muchas veces prismáticos, en superficie en lugar de una estructura granular-nuciforme que aparece en suelos Ferralíticos conservados con un buen contenido en materia orgánica.

Esta hipótesis se confirma por nuevos resultados, obtenidos del estudio de estos suelos en fincas que se encuentran bajo cultivo intensivo y en fincas ganaderas.

Los perfiles estudiados en San José de las Lajas (Finca el Mulato) están poco estructurados en superficie, con bloques angulares y subangulares en el horizonte A; mientras que el de Batabanó (Finca Bárcenas) también está poco estructurado en superficie, pero con formación de estructura enlosada.

Los resultados de la composición mecánica demuestran que son suelos muy arcillosos con diferenciación textural, lixiviados y además por los datos del factor de dispersión (mayor de 30) se evidencia el carácter de poca estructuración del suelo en la parte superior del perfil (Tabla 1). Según (Agafonov, 1981), los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba se caracterizan por su alto porcentaje en arcilla y en ellos tiene lugar la acción estabilizadora de las sustancias húmicas a través del hierro amorfo, el cual se encuentra en condiciones relativamente altas en estos suelos.

Tabla 1. Composición mecánica y factor de dispersión de los suelos

Hor.	Prof., cm.	Arena gruesa %	Arena fina %	Limo grueso %	Limo fino %	Arcilla %	Arcilla microag. %	Factor Disper.
El Mulato, Perfil 1								
A _{1p}	0 – 8	22,6	1,0	4,0	2,0	70,4	27,3	38,8
BA	8 – 26	27,5	2,5	2,1	1,9	66,0	27,3	41,1
B _{1t}	26 – 45	8,6	1,0	2,0	2,0	86,4	No det.	No det.
B _{2t}	45 – 90	2,1	0,9	3,0	2,0	86,4	No det.	No det.
El Mulato, Perfil 2								
Ap	0 – 12	15,4	4,1	2,1	6,0	68,4	23,3	34,2
B _{1t}	12 – 22	13,6	2,0	0,7	3,3	80,4	No det.	No det.
B _{2cn}	22 – 47	21,6	2,0	2,0	4,0	70,4	27,3	38,8

B _{3cn}	47 – 90	17,5	2,1	2,0	2,0	76,4	No det.	No det.
Bárceñas, Perfil 1								
IA	0 – 13	16,0	2,0	6,0	2,0	74,0	30,0	40,6
B	13 – 31	14,0	1,0	3,0	2,0	80,0	30,0	37,5
C	31 – 37	16,6	1,4	6,0	2,0	74,0	40,0	54,1
IIC _{1g}	37 – 54	6,0	1,0	1,0	4,0	88,0	No det.	No det.
C _{2g}	54 – 80	4,0	4,0	2,0	2,0	88,0	No det.	No det.
Bárceñas, Perfil 2								
A11	0 – 7	2,0	3,0	10,0	7,0	78,0	24,0	30,8
A12	7 – 22	4,0	4,0	8,0	2,0	80,0	25,0	31,3
B1t	30 – 55	4,5	2,0	2,5	2,0	89,0	32,0	36,0
B2t	55 - 80	5,0	2,3	2,7	4,0	86,0	23,0	26,7

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las características físico químicas y del contenido en materia orgánica de los suelos. Por estos datos se aprecia que los suelos tienen pH ligeramente ácido, fósforo asimilable variable posiblemente influenciado por las fertilizaciones y bases cambiables entre 10 y 18 col(+)Kg.⁻¹ valores estos propios de los suelos Ferralíticos, sobre todo en la parte media-inferior del perfil. El contenido en materia orgánica es medio en el perfil 1 de Bárceñas y bajo a muy bajo en los otros perfiles, lo que demuestra que con el cultivo a que han estado sometido estas fincas, ya existe una degradación de la estructura del suelo, que se manifiesta en el tamaño de los agregados presentes y en el factor de dispersión con valores mayor de 20 en todos los perfiles. Los datos anteriores demuestran que en estas fincas es necesaria la aplicación de abonos orgánicos no solamente como fuente de nutrientes, sino además para mejorar el estado estructural del suelo y evitar la formación de pisos de aradura que conllevan al empeoramiento en general de las propiedades del suelo.

Tabla 2. Características químicas y contenido en materia orgánica de los suelos

Hor.	Prof., cm.	Ca	Mg	Na	K	Suma	P	MO.	pH
		Cmol(+).kg ⁻¹					ppm	%	H ₂ O
El Mulato, Perfil 1									
A _{1p}	0 – 8	8,8	4,5	0,13	0,38	13,8	68,0	2,5	6,1
BA	8 – 26	8,0	4,2	0,15	0,42	12,8	27,0	2,3	5,6
B _{1t}	26 – 45	6,9	3,1	0,43	0,06	10,5	26,0	2,1	6,0
B _{2t}	45 – 90	7,0	4,3	0,49	0,07	11,9	34,0	0,7	5,2
El Mulato, Perfil 2									
Ap	0 – 12	12,9	3,9	0,45	0,24	17,49	100,0	2,5	6,8
B _{1t}	12 – 22	13,5	4,1	0,65	0,08	18,33	24,0	2,1	5,8
B _{2cn}	22 – 47	10,4	4,7	0,63	0,05	15,78	23,0	1,2	6,5
B _{3cn}	47 – 90	11,1	3,3	0,49	0,07	14,96	20,0	0,5	7,2
Bárceñas, Perfil 1									
IA	0 – 13	12,3	4,9	0,76	0,21	18,17	11,0	3,0	6,8
B	13 – 31	8,1	4,1	0,63	0,06	12,89	4,0	2,5	5,2
C	31 – 37	8,5	3,8	0,63	0,06	12,99	3,0	1,4	5,5
IIC _{1g}	37 – 54	7,2	3,5	0,56	0,05	11,31	9,0	1,4	6,0
C _{2g}	54 – 80	8,1	3,9	0,65	0,05	12,70	9,0	0,7	6,1
Bárceñas, Perfil 2									
A ₁₁	0 – 7	12,7	4,3	0,65	0,76	18,41	103,0	1,4	7,8
A ₁₂	7 – 22	13,0	4,5	0,65	0,24	18,39	47,0	1,4	7,6
B _{1t}	30 – 55	9,2	4,2	0,63	0,24	14,27	12,0	0,7	7,1
B _{2t}	55 – 80	-	4,9	0,36	-	-	14,0	0,5	7,0

Un caso diferente se presentó en el mismo tipo de suelo de la finca ganadera de San Antonio de los Baños, donde las parcelas aunque en el pasado en parte se cultivaron, llevan años con pastos donde el ganado enriquece el suelo con las excretas, Así en la Tabla 3, se puede observar, que en las 9 parcelas muestreadas, el contenido en materia orgánica es mayor de 4,0% en todos los casos, llegando incluso a valores mayor de 6,0. Este valor se corresponde con el tipo de estructura del suelo en esta finca, granular, bien manifiesta y también con el factor de dispersión en todas las parcelas muestreadas, que es menor de 20, excepto la parcela 1 que es de 23,1y en la composición granulométrica predominan las arcillas en un rango de 35-55 % evidenciando que son suelos arcillosos (Tabla 4).

Tabla 3. Características físico-químicas y contenido en materias orgánicas y nutrientes de las parcelas estudiadas en la finca ganadera

No. Parcela	pH	M.O. %	P ppm	Ca	Mg	Na	K	Suma
				Cmol(+).kg				
1	8,2	5,60	11,6	27,0	6,8	0,13	1,30	35,23
2	8,2	5,10	34,5	27,0	6,5	0,08	1,13	35,71
3	8,2	6,32	12,3	29,2	5,2	0,17	1,08	35,65
4	8,2	4,84	15,2	26,7	4,1	0,11	1,00	31,91
5	8,2	6,12	41,6	26,4	5,6	0,06	0,76	32,82
6	7,9	5,60	8,1	26,0	4,9	0,11	0,51	31,52
7	8,2	5,87	8,1	24,3	5,5	0,08	0,51	30,39
8	8,2	5,36	10,2	27,2	3,4	0,08	0,51	31,19
9	8,1	4,78	10,9	28,0	3,0	0,08	0,51	31,59

Tabla 4. Composición mecánica y factor de dispersión en las parcelas estudiadas de la finca ganadera

No. Parcela	Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo grueso (%)	Limo fino (%)	Arcilla (%)	Arcilla microag. %	Factor Disper.
1	33,4	19	5	8	34,6	8	23,1
2	30,4	15	7	1	46,6	6	12,9
3	33,4	16	10	3	37,6	5	13,3
4	29,4	14	9	7	40,6	5	12,3
5	29,7	23	2	5	40,3	7,3	18,2
6	20,7	12	4	8	55,3	8,3	13,2
7	33,7	13	9	6	38,3	6,3	16,5
8	24,7	16	6	8	45,3	4,3	9,5
9	25,7	13	10	8	43,3	4,3	10,0

Estos resultados demuestran la relación que existe entre el factor de dispersión y el contenido en materia orgánica en los suelos Ferralíticos, Por lo que se determinó la correlación entre estas propiedades (Fig. 2) se observa una alta dependencia a medida que aumenta el coeficiente de dispersión disminuye el contenido de materia orgánica y viceversa con un empeoramiento de las principales propiedades del suelo.

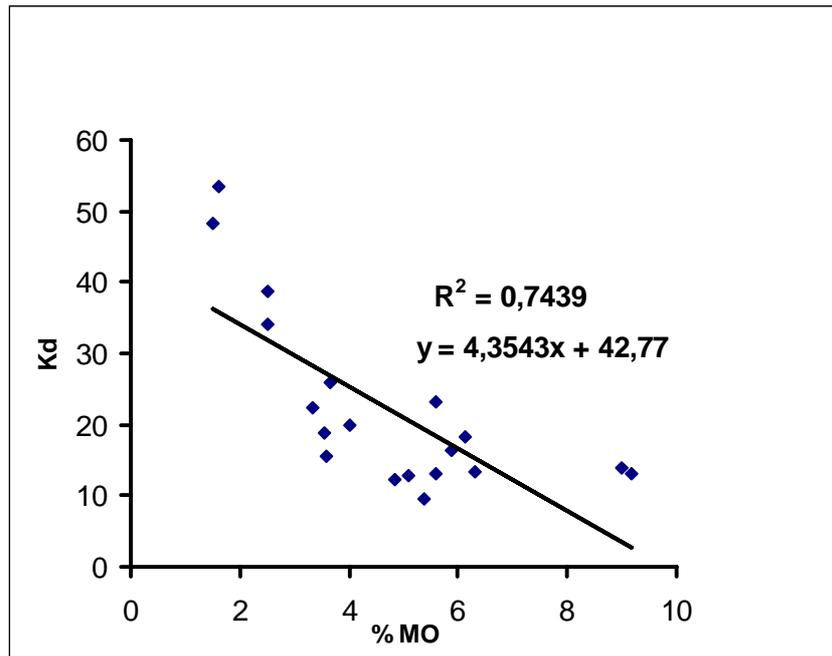


Fig 2. Relación del coeficiente de dispersión con el contenido de Materia Orgánica en suelos Ferralíticos Rojos

En la Fig. 3 se aprecia la estrecha relación que tiene la densidad aparente con la materia orgánica reflejado a través de un alto coeficiente de correlación $R^2 = 0,832$ hay una tendencia que ha medida que incrementa la densidad disminuye la MO en los suelos estudiados y viceversa.

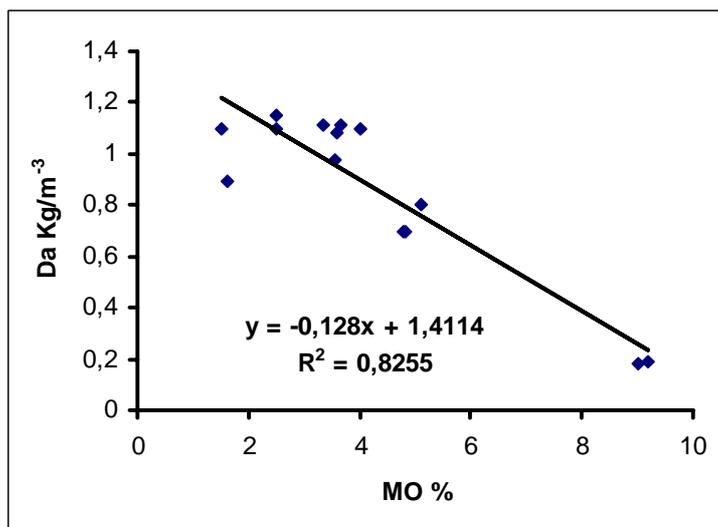


Fig 3. Relación de la densidad aparente y el contenido de Materia Orgánica en suelos Ferralíticos Rojos

CONCLUSIONES

La disminución de materia orgánica se corresponde con la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados expresada en el empeoramiento sus propiedades.

Los valores del factor de dispersión (por lo general mayor de 20-25) evidencian el carácter de poca estructuración del suelo en la parte superior del perfil.

La alta correlación entre éste factor y el contenido en materia orgánica, así como con la densidad aparente confirman la importancia de este componente.

El contenido de materia orgánica puede ser un índice muy importante como indicador de la calidad del suelo.

BIBLIOGRAFIA

- Agafonov, O.A. Propiedades físicas de los principales tipos de suelos de Cuba, en relación con su génesis y uso agrícola (en ruso). Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Investigaciones Agroquímicas. VAXHNIL, Leningrado, 290p., 1981.
- Alfonso, C.A. y Milagros Monedero. Uso manejo y conservación de los suelos. ACTAF, ISBN: 959-246-122-8, La Habana, 68p., 2004.
- Belobrov, V.P. Sobre la lixiviación y la diferenciación textural en algunos suelos de Cuba (en ruso). Pochvoedenie 5:29-41, 1978.
- Borges, Yenia. Cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados por el cambio de uso de la tierra. Tesis de Universidad para Ingeniero Agrónomo, UNAH, La Habana, 87p., 2004.
- Cooper, M., P. Vidal-Torrado, V. Chaplot. Orignn of microaggregates in soils with ferralic horizons. Sci Agric. (Piracicaba, Braz.), 62(3):256-263, 2005.
- Delgado R. Estado energético del agua y su interrelación con las propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba. Tesis para optar por el grado

- científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Suelos, La Habana, Cuba, 100 p. 1987.
- Hernández, A., M.O. Ascanio, F. Morell y Yenia Borges. Some criteria about Global Soil Change in Cuba. En: International Conference of Global Soil Change. Instituto de Geología. México, 2005.
- Hernández, A., F. Morell, Marisol Morales, Yenia Borges y O. Ascanio Cambios globales en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródicos éutricos) de Cuba. *Cultivos Tropicales* 27(2):41-50., 2006a.
- Hernández, A., O. Ascanio, Marisol Morales, J.I. Bojórquez, Norma E. García y J.D. García. El suelo; Fundamentos de su formación, cambios globales y su manejo. Editorial Universidad de Nayarit, México. ISBN: 968-833-072., 255p., 2006b.
- Instituto de Suelos MINAG. Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos. Agrinfor, Ciudad de La Habana, 39p. 2001.
- Jan, D. Enlaces órgano-minerales y estructura del suelo. Editorial Nauka, Moscú, 140p. 1969.
- Mata, R. El suelo es el primer factor para la sostenibilidad de los Agroecosistemas. *Revista Aportes*, No. 132, pp. 13-17. 2006.
- Morales Marisol; A. Hernández y A. Vantour. Los Cambios Globales y su influencia en el contenido de materia orgánica en los suelos de Cuba. *Agricultura Orgánica* (2): 15-17, 2003.
- Morales Marisol; A. Hernández. Reservas del Carbono en suelos de diferentes ecosistemas de Cuba. En: Congreso Científico del INCA (15: nov 7-10, La Habana). Memorias. CD-ROM. INCA. ISBN 859-7023-36-9, 2006.
- Morell, F., A. Hernández, F. Fernández y Yuselín Toledo. Caracterización agrobiológica de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la región de San José de las Lajas, en relación con el cambio en el manejo agrícola. *Cultivos Tropicales* 27(4):13-18., 2007.
- Moreno J.M. Modificaciones estructurales de suelos Ferralítico Rojos bajo diferentes manejo. Tesis de Maestría en Ciencias del Suelo. UNAH, La Habana, 62p., 2002.
- Orellana Rosa; J.M. Moreno; J.M. Febles y Marina Vega. Propuesta de Indicadores edáficos para medir la sostenibilidad de suelos Ferralíticos Rojos de la Provincia Habana, Cuba. I Seminario de Cooperación y Desarrollo en Espacios rurales iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores. En www.indirural.ual.es, 2007.
- Rodríguez Gamiño; Ma. de Lourdes; J. López Blanco y G. Vela Correa. Materia orgánica como indicador de calidad de suelos en Milpa Alta centro de México. Memoria del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León, Guanajuato, México, pp. 1357-1359, 2007.

- Tittonell, P. y S. López. La materia orgánica como indicador edáfico de sustentabilidad: ¿Cómo determinar umbrales críticos? Memoria del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León, Guanajuato, México, pp. 1349-1352, 2007
- Verchinin, P.V. Fase sólida del suelo como fundamento de su régimen físico (en ruso). En el libro "Fundamentos de Agrofísica" Editorial Fizmatlit, pp. 209-404, 1959.
- Zonn, S.V. Particularidades de la formación del suelo y principales tipos de suelos de Cuba (en ruso). En el libro "Génesis y geografía de suelos en países extranjeros por geógrafos soviéticos". Editorial Nauka, Moscú, pp. 53-153, 1968.