



CARACTERÍSTICAS DE VERTISOLES EN ÁREAS PERIFÉRICAS DE LA HABANA

Vertisols characteristics in peripheral areas of Havana

Alberto Hernández Jiménez[✉], Violeta Llanes Hernández, Dagoberto López Pérez y Jesús Rodríguez Cabello

ABSTRACT. Vertisols are soils constituted by very particular characteristics that are being studied in the world from different approaches (genesis, classification and characterization) and overall in the last years in relation with soil cracking and water availability in these soils. This paper presents the last criteria to the diagnosis of characteristics that define the classification of Vertisols; at a world level (Soil Taxonomy and World Reference Base), as well as in Cuban classification. Also, physical, morphological and chemical properties are shown in three soil profiles studied near City of Havana, in low parts of the relief with a tropical sub humid climate with 1100 to 1300 mm of rainfall in the year. Finally this paper highlights that it is the first time of the characterization and classification of Vertisols in provinces near to Havana City (Mayabeque and Artemisa province).

Key words: vertisol, Cuba, characteristics

INTRODUCCIÓN

Los Vertisoles constituyen un grupo de suelos que presentan características particulares entre las cuales se tienen: presencia de bloques prismáticos con caras de deslizamiento (slickensides), agrietamiento en época de seca y muy plástico en condiciones de sobrehumedecimiento, con un microrrelieve gilgai. Ellos se forman principalmente en las regiones de clima tropical y subtropical relativamente seco, con

RESUMEN. Los Vertisoles constituyen suelos con características muy particulares, que en el mundo se vienen estudiando desde diferentes puntos de vista (génesis, clasificación, caracterización) y sobre todo en los últimos años en relación con el agrietamiento y la disponibilidad del agua en estos suelos. En este trabajo se presentan los últimos criterios para diagnosticar las características que definen la clasificación de estos suelos; tanto por las clasificaciones mundiales (Soil Taxonomy y World Reference Base), como en Cuba. Se muestran además las propiedades morfológicas, químicas y algunas físicas de tres perfiles de Vertisoles estudiados en áreas periféricas de la Habana, en partes bajas del relieve, bajo clima tropical subhúmedo con precipitaciones que oscilan entre 1100 y 1300 mm al año. Se destaca finalmente que es la primera vez que se diagnostican estos suelos en las provincias cercanas a Ciudad de la Habana (provincias de Mayabeque y Artemisa).

Palabras clave: vertisol, Cuba, características

climas alternantes de sequía y lluvia; en las regiones de clima templado estos suelos no son muy extensivos; por ejemplo en los países de la Unión Europea tienen una extensión de 36 000 km² (solamente 0,88 % del territorio total) (1).

Estos suelos se forman por un proceso que se denomina vertisolización (2), el cual se describe detalladamente por algunos autores (3). Las condiciones de formación de los mismos, por lo general son: relieve de llanura, alternancia de sequía y humedad, vegetación variable (desde pastizales hasta bosques) y sobre todo formado a partir de sedimentos arcillosos con predominio de minerales arcillosos de alta dispersión (esmeclitas). Además resulta necesario cierto tiempo para que los bloques prismáticos que se forman en el suelo puedan desarrollar las caras de deslizamientos.

Las características de este grupo de suelos muy particular se estudia en forma permanente, tanto de sus características y clasificación (4, 5), como del cambio de sus propiedades por el manejo (6) y también con relación a los problemas de dilatación y contracción que ocurre en ellos por el cambio de la humedad (7) y además los problemas del humus y la energía en ellos (8).

Por la clasificación de suelos norteamericana Soil Taxonomy (9), los Vertisoles se diagnostican por tener dentro de los 100 cm del espesor superior del suelo, una capa de 25 cm o más de espesor, que tiene caras de fricción o agregados en forma de cuña inclinados de 10 a 60 grados; y además 30 % o más de arcilla entre la superficie del suelo mineral y una profundidad de 18 cm.

Por la clasificación de suelos del WRB (5) los Vertisoles se diagnostican por la presencia de un horizonte vértico, el cual se caracteriza por tener 30 o más de arcilla, y agregados estructurales inclinados de 10 a 60 grados, y slickensides o caras de fricción. La presencia de bloques prismáticos con caras de deslizamientos bien definidas es mostrada muy claramente en un libro sobre estructura del suelo editado recientemente (10).

En Cuba estos suelos fueron diagnosticados inicialmente como Negros Tropicales (11), posteriormente como Vertisoles (12), manteniéndose este nombre en la nueva versión de clasificación genética de los suelos (13).

Por esta última versión de clasificación de los suelos de Cuba, los Vertisoles se diagnostican por la presencia de un horizonte vértico, el cual presenta las siguientes características:

- Un espesor de al menos 60 cm dentro de una capa de 150 cm medida desde la superficie.
- Puede presentarse desde la superficie al ocurrir la manifestación de microrrelieve gilgai o estar recubierto por un horizonte mullido.
- Textura arcillosa en todo su espesor, con contenido de arcilla mayor de 40 %.
- Estructura en bloques prismáticos (grandes o medianos) a masivos, con caras brillantes bien manifiestas que recubren los agregados.
- En estado húmedo es plástico y en estado seco es duro y se agrieta.
- Alta capacidad de cambio de bases, con predominio en ocasiones del magnesio sobre el calcio dentro del complejo de intercambio.
- Predominio de minerales arcillosos del tipo de las esmectitas.

Los Vertisoles ocupan una extensión en nuestro país de 695 000 ha, presentándose en casi todas las provincias de Cuba, siendo la de mayor extensión la provincia de Granma donde ocupan un área de 228 000 ha; siendo las de menor extensión Pinar del Río (700 ha), Matanzas (12 500 ha) y la antigua

provincia Habana (14 100 ha). Como se puede observar en las provincias occidentales donde predominan suelos muy evolucionados (Ferralíticos, Alíticos y Ferrálicos), no hay una manifestación extensiva de estos suelos, y solamente hace poco tiempo se presentó las características de un perfil de este suelo (14), cerca de Campo Florido.

En un trabajo anterior (15) se presenta la formación de propiedades vérticas en suelos Ferralíticos en los alrededores de La Habana; en este trabajo se plantea el objetivo de mostrar las características de tres perfiles de Vertisoles, cercanos a la Habana, ya que este Grupo de suelos hasta ahora ha sido poco diagnosticado en esta región.

MATERIALES Y MÉTODOS

La provincia de la Habana en su mayor parte está sustentada por calizas miocénicas, que en gran parte se extienden hacia el Sur, dando lugar a la formación de suelos Ferralíticos Rojos que constituyen la llamada "Llanura Roja de la Habana", hoy día forma parte de las nuevas provincias de Mayabeque y Artemisa.

Estas calizas debido al tectonismo erosivo durante el período Cuaternario está lavada en algunas partes, que trae como consecuencia el afloramiento de rocas subyacentes de edad más antigua (Paleógeno y Cretácico), formando un sinclinal como se muestra en el esquema.

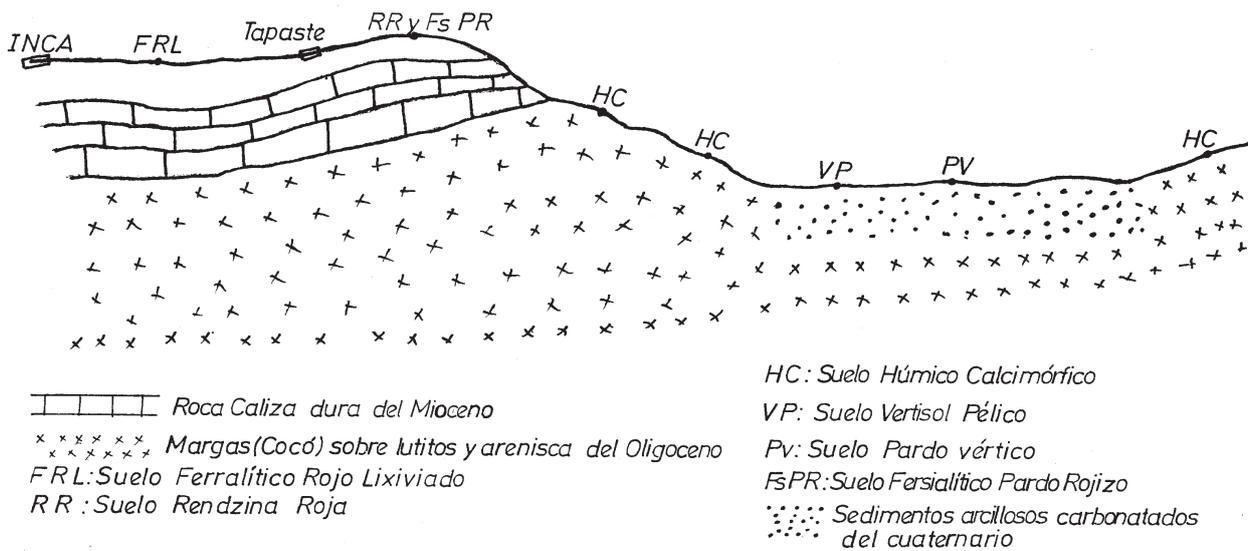
En este esquema se observa como desaparecen las calizas duras del Mioceno, que cubren la superficie y se desarrolla un relieve más joven pero con rocas más antiguas en las laderas y en las depresiones se presentan sedimentos arcillosos carbonatados. En las laderas se forman suelos Pardos y Húmicos Carbonáticos y en las depresiones suelos Pardos vérticos y Vertisoles. Los datos climáticos fueron tomados del Atlas Nacional de Cuba (16).

Para este estudio se caracterizan tres perfiles de Vertisoles, uno tomado cerca del Guatao, en la Finca La Fe y los otros dos en Fincas desde la bajada de Tapaste (Finca El Carmelo) hasta Campo Florido (Finca "La Rosita", de la UJC Nacional).

Los perfiles se describen según la metodología de otros autores (17) y se clasifican por el sistema de clasificación de suelos de Cuba (13), el World Reference Base (5) y la Soil Taxonomy (9).

Las muestras de suelos fueron analizadas en el laboratorio del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas por los siguientes métodos analíticos:

- pH en agua, por potenciometría, relación suelo:agua 2:1 materia orgánica según Walkley and Black Carbono, por división del porcentaje de materia orgánica entre 1,724 Fósforo asimilable por Oniani Cationes cambiables por acetato de amonio y acetato de sodio Potasio asimilable, por cálculo del potasio intercambiable.



Esquema de la distribución de los suelos y la geología en la zona de estudio

- La composición mecánica del suelo se determina por el método de Bouyoucos, utilizando pirofosfato de sodio y exametafosfato de sodio como dispersante. La densidad de volumen se determinó por el método de los cilindros, utilizando cilindros de 100 cm³ de volumen y la reserva de carbono se realizó por cálculo según la fórmula internacional:

$$RC = \%C \cdot \text{Profundidad en cm} \cdot Dv \text{ (kg dm}^{-3}\text{)} = RC \text{ en Mg ha}^{-1}$$

A continuación se presentan las descripciones de los perfiles de suelos estudiados.

Perfil P-1

Fecha: 17/4/08
Localización: Guatao, Finca "La Fe"
Altura (msnm): 65
Coordenadas: N: 355.350; E: 348.650
Provincia: Habana

Factores de formación

Posición fisiográfica del lugar: Parte baja en terreno ondulado
Topografía del terreno circundante: Ondulado a fuertemente ondulado
Microrrelieve: Se observa en algunas partes microrrelieve gilgai
Pendiente donde se tomó el perfil: 3 %
Vegetación o uso de la tierra: Pastos con algunos árboles
Clima: Tropical subhúmedo; **Precipitaciones:** 1300 mm
Temperatura media: 24,5 °C
Material de origen: Materiales transportados carbonatados
Tiempo: Cuaternario
Drenaje superficial: Deficiente
Drenaje interno: Deficiente

Diagnósticos

Proceso de formación: Vertisolización
Horizontes de diagnóstico: Principal: Vértico; Normal. Mullido, cálcico
Características de diagnóstico: Contenido variable de carbonatos

Clasificación:

Cubana: Vertisol Crómico, mullido y cálcico, lavado
Soil Taxonomy: Calcic-chromic Haplustert
WRB: Grupo: Vertisol; Unidad: Vertisol mólico, cálcico (crómico)

Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-24	Color pardo oscuro (10YR3/3), arcilloso, estructura granular, friable y algo plástico, húmedo, poroso, con poros grandes, medios y finos, con lombrices, muchas raíces finas, con gravas pequeñas redondeadas, sin reacción al HCl, límite neto.
B	24-52	Color rojo amarillento (5YR4/6), más arcilloso, estructura de bloques prismáticos con caras de deslizamiento, ligeramente compactado y plástico, pocos poros en las paredes con las caras de deslizamiento y mediana cantidad dentro de los agregados, con 5-15 % de gravas pequeñas de color oscuro, con raíces finas que atraviesan el horizonte completamente, sin reacción al HCl, límite neto.
Cca	52-100	Color mezclado, blanco (7,5YR8/1), rojo amarillento (5YR5/6) y pardo (7,5YR5/3), franco arcilloso, estructura terronosa fina, de 2-45 cm de tamaño, plástico, húmedo, con mediana cantidad de poros finos, escasas raíces, con materiales intemperizados de color oscuro, reacción fuerte al HCl, con presencia de abundantes aglomeraciones algo redondeadas de carbonato secundario.

Perfil D3

Fecha: 12 de febrero de 2009 *Localización:* Guatao, Finca La Rosita

Altura (msnm): 65

Coordenadas: N: 367.200; E: 379,000

Provincia: Mayabeque

Factores de formación

Posición fisiográfica del lugar: Terraza alta

Topografía del terreno circundante: Ondulada y llana

Microrrelieve: Manifestación de microrrelieve gilgai

Pendiente donde se tomó el perfil: 2 %

Vegetación o uso de la tierra: Arboleda de mango con pastos naturales

Clima: Tropical subhúmedo. *Precipitaciones:* 1100 mm;

Temperatura media: 24,7 °C

Material de origen: Aluvio-deluvio arcilloso con carbonatos

Tiempo: Cuaternario

Drenaje: Interno: Deficiente; Externo: Deficiente

Diagnósticos:

Proceso de formación: Vertisolización

Horizontes de diagnóstico: Principal: Vértico

Normal: Mullido, cálcico

Características de diagnóstico: Con contenido variable de carbonatos

Clasificación del suelo:

Cubana (1999): Vertisol Pélico mullido y cálcico, carbonatado

Soil Taxonomy (2006): Calcic Haplustert

WRB (2006): Grupo: Vertisol; Unidad: Vertisol mólico, cálcico (calcárico, pélico)

Descripción del perfil D3

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ak	0-17	Color gris oscuro (2,5Y4/1), arcilloso, estructura en bloques pequeños que pasan a nuciforme no muy bien definido, ligeramente compactado y algo plástico, húmedo, reacciona fuerte al HCl, con gravitas duras de CaCO ₃ , transición gradual.
ABk	17-29	Color gris oscuro (10YR4/1), arcilloso, con bloques prismáticos pequeños de 3-5 cm, compactado, plástico, un poco más húmedo que el anterior, mediana cantidad de poros finos, caras de deslizamiento, reacciona al HCl, transición neta, con gravitas de CaCO ₃ .
Bv(ca)	29-100	Color gris muy oscuro (10YR3/1), arcilloso, con estructura de bloques prismáticos con caras de deslizamiento de 20-30 cm, muy marcadas, compactado, medianamente húmedo, no reacciona al HCl, por dentro el bloque tiene gravas endurecidas que reaccionan al HCl y es de color (2,5YR3/1) gris muy oscuro, medianamente poroso con poros finos, por fuera el bloque tiene muy pocos poros.

Perfil EC-1

Fecha: 10 de junio de 2009

Localización: Fondo de valle, entre lomas de calizas, detrás de Escaleras de Jaruco.

Hoja Cartográfica: Jaruco

Altura (msnm): 100

Coordenadas: N: 357.350; E: 382.800

Provincia: Mayabeque

Factores de formación

Posición fisiográfica del lugar: Ondulado

Topografía del terreno circundante: Ondulado y llano

Microrrelieve: Se observan irregularidades en la superficie del terreno

Pendiente donde se tomó el perfil: 4-6 %

Vegetación o uso de la tierra: Pastos debajo de arboleda de naranja de 10-12 años

Clima: *Precipitaciones:* 1300 mm;

Temperatura media: 24,3 °C

Material de origen: materiales transportados carbonatados y caliza dura subyacente

Drenaje: Interno: Malo; Externo: Regular

Diagnósticos:

Proceso de formación: Vertisolización

Horizontes de diagnóstico: Principal: Vértico

Normal: Mullido, cálcico

Características de diagnóstico: Con contenido variable de carbonatos

Clasificación del suelo:

Cubana: Vertisol Pélico mullido y cálcico, medianamente lavado

Soil Taxonomy: Calcic Haplustert

WRB: Grupo: Vertisol; Unidad: Vertisol mólico, cálcico (pélico)

Descripción del perfil

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A ₁₁	0-17	Color 10YR3/2, pardo grisáceo muy oscuro, arcilloso, estructura prismática pequeña que se desmenuza en nuciforme y granular, ligeramente compactado y plástico, medianamente húmedo, pocos poros finos, con grietas, muchas raíces, sin reacción al HCl, transición gradual.
A ₁₂	17-29	Color 10YR4/2, pardo grisáceo oscuro, arcilloso, estructura de bloques prismáticos pequeños con algunas caras de deslizamiento que se desmenuza fácilmente, friable y plástico, muchas raíces, con más poros finos, sin reacción al HCl, transición notable.
Bvca	29-100	Color 10YR4/3, pardo, arcilloso, con bloques prismáticos medianos con caras de deslizamiento, muy plástico, muy húmedo, pocos poros finos, escasas raíces, reacción al HCl.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La descripción de los perfiles de suelos demuestra en primer lugar sus características morfológicas. En los tres perfiles es común el horizonte principal vértico, que los permite clasificar dentro del Agrupamiento de Vertisoles, también se destacan por la presencia de un horizonte A, mullido, debido a la vegetación de pastos bajo el cual se encuentran, aunque en los perfiles D-3 y EC-1 los pastos acompañan a plantaciones de frutales, mango y naranja, respectivamente.

Es importante señalar además, que estos suelos presentan carbonato de calcio, con horizonte cálcico en los tres perfiles, aunque en los perfiles P-1 y EC-1, no hay reacción a los carbonatos en la parte superior y media del perfil. Sin embargo, en el perfil D-3, reacciona desde la superficie. Esto puede ser debido a dos causas, por un lado que los materiales transportados arcillosos en el perfil P-1 están mezclados con materiales que provienen de zona de suelos evolucionados ferráltico y ferrálico, por lo que los sedimentos están más lavados (por eso es que este suelo tiene carácter crómico y se diferencia como Vertisol Crómico) y además para el caso del perfil EC-1 es posible sea debido al régimen de lluvia un poco mayor en el año.

Los tipos de perfiles que se presentan son:

P-1: Am-Bv-Cca

EC-1: Am-Bv-Cca

D-3: Amk-Bvca-Cca

donde:

m: significa horizonte mullido

v: significa horizonte vértico

ca: significa horizonte cálcico (carbonatos secundarios)

k: indica presencia de carbonatos (carbonatos primarios)

Otra característica que distingue a estos suelos es el porcentaje en arcilla, el cual es mayor de 50 % en un espesor de un metro de profundidad, medido desde la superficie (Tabla I), correspondiendo al contenido propio de los Vertisoles. El tipo de arcilla se deduce por la suma de bases cambiables, elevada, que indica que son minerales arcillosos de alta dispersión, del grupo de las esmectitas (Tabla II).

Los suelos son de reacción cerca de lo neutro (perfil EC-1) hasta alcalina (perfiles P-1 y D-3). Con contenido en materia orgánica mayor de 3.0, posiblemente debido a la acción de los pastos en la acumulación de la materia orgánica durante mucho tiempo. Son suelos altos en bases cambiables, con una relación calcio: magnesio aceptable (entre 2 y 6). El contenido en magnesio cambiante es algo diferente en el perfil D-3, que tiende a aumentar, al igual que el sodio, que tiende a ser más alto en profundidad (esto puede ser debido a la presencia de lutitas y productos de su intemperización en estos suelos) (Tabla II).

Los perfiles estudiados se distinguen además por el contenido de las reservas de carbono (Tabla III), que oscilan entre 38 y 44 t ha⁻¹, para la capa de 0-20 cm y alcanza valores mayores de 85 t ha⁻¹ para la capa de 0-50 cm. Esta reserva relativamente alta de carbono en estos suelos es debido a la acción de los pastizales y en el caso de los perfiles D-3 y EC-1 de los frutales también. Hay numerosos resultados sobre la eficiencia de los pastizales en la captura y secuestro del carbono, no solamente en Vertisoles, sino además en otros tipos de suelos (18, 19, 20).

Tabla I. Análisis mecánico del suelo Vertisol Pélico mullido y cálcico

Número perfil	Profundidad (cm)	Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo grueso (%)	Limo fino (%)	Arcilla (%)
P-1	0-24	4,8	6	8	10	71,2
	24-52	3,8	7	8	12	69,2
	52-90	5,8	8	9	13	64,2
D-3	0-17	8,8	4	7	7	69,2
	17-29	9,8	4	7	10	69,2
	29-100	7,8	4	5	5	78,2
EC-1	0-17	3,8	5	4	10	77,2
	17-44	4,8	5	5	12	73,2
	44-100	8,8	7	7	11	66,2

Tabla II. Características físico químicas de los suelos

Número perfil	Profundidad (cm)	pH	MO (%)	P asimilable (ppm)	Ca	Mg	Na (cmol kg ⁻¹)	K (cmol kg ⁻¹)	Suma
P-1	0-24	7,8	3,51	16,0	34,0	7,5	0,26	0,34	42,1
	24-52	8,5	3,24	14,0	33,0	7,0	0,24	0,34	40,6
	52-90	7,6	2,87	7,0	nd	nd	nd	nd	nd
D-3	0-17	7,8	3,02	485	48,2	13,0	0,40	0,76	62,4
	17-29	7,9	2,41	321	40,6	24,4	0,52	2,81	68,3
	29-100	8,4	2,07	95	40,5	14,7	2,06	0,48	57,7
EC-1	0-17	6,9	3,57	27	50,0	5,0	0,36	0,32	55,7
	17-44	6,6	2,41	11	55,4	9,6	0,30	0,44	65,7
	44-100	7,1	1,91	8	55,0	4,0	0,39	0,51	59,9

Tabla III. Reservas de carbono de los suelos

Número perfil	Profundidad (cm)	MO (%)	C (%)	Densidad volumen (Mg m ⁻³)	Reserva (t ha ⁻¹)	Reservas de C en t ha ⁻¹		
						0-20	0-50	0-100
P-1	0-24	3,51	2,04	1,08	52,9			
	24-52	3,24	1,88	1,18	62,1	44	111	211
	52-100	2,87	1,66	1,20	95,6			
D-3	0-17	3.02	1,75	1,10	32,7			
	17-29	2.41	1,40	1,15	23,1	38	86	158
	29-100	2.07	1,20	1,20	102,2			
EC-1	0-17	3,57	2,07	1,08	38,0			
	17-44	2,41	1,40	1,10	41,6	43	87	nd
	44-100	1,91	1,11	1,12	32,3			

Es necesario destacar además que estos suelos al contrario de los Gleysols, puede capturar buena cantidad de carbono en la capa de 0-100 cm, ya que puede alcanzar reservas mayores de 150 t ha⁻¹.

De esta forma se evidencia que los Vertisoles en esta región pueden ser una fuente adecuada para la captura y secuestro de carbono, en la lucha contra el cambio climático.

CONCLUSIONES

- Por primera vez se profundiza en la caracterización de Vertisoles en la región aledaña a la Ciudad de la Habana.
- En la región del sinclinal de Campo Florido hacia El Guatao, se puede presentar en las partes bajas del relieve Vertisoles, en condiciones de un clima tropical subhúmedo con precipitaciones que oscilan entre 1100 y 1300 mm al año.
- Los Vertisoles estudiados bajo vegetación con pastos tienen un horizonte A mullido y un horizonte C, cálcico, aunque pueden ser variables por el lavado de carbonatos por el perfil.
- Se demuestra además que los Vertisoles en la región de estudio, constituyen una fuente adecuada para la captura y reserva de carbono.

REFERENCIAS

1. Tóth, G.; Montanarella, L.; Stolbovoy, V.; Maté, F.; Bodis, K.; Jones, A.; Panagos, P. y Van Lienderkerke, M. Soils or the European Union. JRC. European Commission. Italy. 2008. 85 pp. ISBN 978-92-79-09530-6.
2. Buol, S. W.; Holm, F. D. y McCracken, R. J. Soil Genesis and Classification (Third Edition). Iowa State University Press/Ames. 1989. 446 pp.
3. Hernández, A.; Ascanio, M. O.; Morales, M.; Bojórquez, I.; García, N. E. y García, J. D. El Suelo: Fundamentos de su formación, cambios globales y su manejo. México: Editorial Universidad Autónoma de Nayarit. 2006. 255 pp. ISBN 968833072-8.
4. Moustakas, N. K. A study of Vertisol genesis in North Eastern Greece. *Catena*, 2012, vol. 92, pp. 208-210.
5. IUSS Working Group World Reference Base. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos 103. FAO. 2008. 117 pp. ISBN 978-92-5-305511-1.
6. Fregoso Tirado, L. E. Cambios en las características químicas y microbiológicas de un Vertisol inducidos por sistemas de labranza de conservación. *TERRA Latinoamericana*, 2008, vol. 26, no. 2, abril-junio, pp. 161-170. ISSN 0187-5779.
7. Rivera, L.; Morgan, C. L. S.; Kishne, A. y Hallmark, C. T. Estimating Crack Volume in Two Shrink-Swell Soils. Soil Survey and Land Resources Workshop. College Station, TX. 2008.
8. Garcés, N.; Hernández, A.; Caro, I. y Arteaga, M. El humus de suelos cubanos en ecosistemas tropicales conservados y la energía. *TERRA latinoamericana*, 2009, vol. 27, no. 2, pp. 85-96. ISSN 0187-5779.
9. Soil Survey Staff. Claves para la Taxonomía de Suelos. Undécima Edición. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 2010. 365 pp.
10. Hernández, A.; Bojórquez, J. I.; Morell, F.; Cabrera, A.; Ascanio, M. O.; García, J. D.; Madueño, A. y Nájera, O. Fundamentos de la estructura de suelos tropicales. Universidad autónoma de Nayarit, México e Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Cuba. Tepic, Nayarit. 2010. 80 pp. ISBN 978-607-7868-27-9.
11. Hernández, A.; Ascanio, O. y Pérez, J. M. Informe sobre el mapa genético de los suelos de Cuba en escala 1: 250 000. *Rev. de Agricultura*, 1971, vol. 4, no. 1, pp. 1-21. ISSN 0034-7655.
12. Instituto de Suelos. Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Serie Suelos 23. 1975. 36 pp.
13. Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. y Rivero, L. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. AGRINFOR. Instituto de Suelos. La Habana. 1999. 64 pp. ISBN 959-246-022.
14. López, D.; Morell, F.; Balmaceda, C. y Hernández, A. La Rosita. I. Características y distribución de los suelos. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 1, pp. 41-47. ISSN 1819-4087.
15. Hernández, A.; Borges, Y.; Marentes, F.; Martínez, M. y Rodríguez, J. Presencia de propiedades vérticas en suelos Fersialíticos de la antigua provincia Habana. *Cultivos Tropicales*, 2011, vol. 32, no. 2, pp. 5-10. ISSN 1819-4087.

16. Davitaya, F. F. Clima. En: Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba e Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de la URSS. Editado por Dirección General de Geodesia y Cartografía de la URSS. 1970. pp. 34-44.
17. Hernández, A.; Peneque, J.; Pérez, J. M. y Fuentes, E. Metodología para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos. La Habana: Instituto de Suelos. 1995. 45 pp.
18. Nunez Carvalho, J. L.; Avanzi, J. C.; Naves, M. L.; Silva, C. G.; Rogerio de Melho, C. E. y Pellegrino, Cerri. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 2010, vol. 34, no. 2, mar/apr. ISSN 0100-0683.
19. Salton, J. C.; Mielnizuk, J.; Bayer, C.; Boeni, M.; Conceicao, R. C.; Carvalho, F. A.; Motta, M. C. y Broch, D. L. Agregacao e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuarios em Mato Grosso do Sul. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 2008, vol. 32, no. 1, Jan./Feb. ISSN 0100-0683.
20. Funes Monzote, F. R.; Bello, R.; Alvarez, A.; Hernández, A.; Lantinga, E. A. y Keulen, H. Van. Identifying agroecological mixed farming strategies for local conditions in San Antonio de los Baños, Cuba. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2012, vol. 10, no. 3, pp. 208-229. ISSN 1747-762X.