



**UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS**  
**“JOSÉ MARTÍ PÉREZ”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA**



**TRABAJO DE DIPLOMA**

COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE  
UN SUELO FERRALÍTICO ROJO LIXIVIADO, SOMETIDO A  
DIFERENTES FORMAS DE USO.

**Autor:** LIUSBEL ONIEL MORERA DURÁN

Sancti Spíritus, 2016



**UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS**  
**“JOSÉ MARTÍ PÉREZ”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA**



**TRABAJO DE DIPLOMA**

COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE  
UN SUELO FERRALÍTICO ROJO LIXIVIADO, SOMETIDO A  
DIFERENTES FORMAS DE USO.

**Autor:** Liusbel Oniel Morera Durán

**Tutor:** MSc. Dilier Olivera Vicedo

Sancti Spíritus, 2016

## PENSAMIENTO

*... " en la tierra hace falta personas que critiquen menos y trabajen más, que destruyan menos y construyan más, que prometan menos y cumplan más, que digan ahora y no mañana "*  
...

*Ernesto Che Guevara*



## **DEDICATORIA.**

- *A todas las personas que contribuyeron para la realización del mismo.*
- *A mis profesores de toda la carrera los cuales me brindaron apoyo, tiempo, comprensión y conocimientos.*
- *A mi tutor MSc. Dilier Olivera Viciado.*
- *A mi novia por su apoyo incondicional durante el tiempo de estudio y preparación para que llegara este momento.*
- *Y en especial a los que me dieron el ser, porque sin ellos no estuviera hoy donde estoy: Mamá y Papá.*

## **AGRADECIMIENTOS**

- *A mi mamá y a mi papá por los años de espera y ayuda para que llegara este momento, por su comprensión y apoyo incondicional.*
- *A mi tutor MSc. Dilier Olivera Viciado por ofrecernos su tiempo y experiencia con inigualable desinterés. Su entrega y compromiso fueron imprescindibles para realizar este trabajo.*
- *Al claustro de Profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.*
- *A mi novia por su apoyo y ayuda durante el tiempo de preparación para mi defensa.*
- *A los compañeros del grupo, que me han apoyado para cumplir esta gran misión de graduarme de Ingeniero Agrónomo.*
- *A los familiares y amigos que nos ayudaron y estimularon durante todos estos años de estudio.*

## SÍNTESIS

La presente investigación se realizó en la finca “La Esperanza” perteneciente a la CCS “Ramón Pando Ferrer” del Consejo Popular Banao en el municipio de Sancti Spíritus. Este estudio se fundamentó en evaluar los cambios que se producen en las propiedades físicas del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado en función de su uso y manejo en condiciones de premontaña. Para ello se realizaron tres perfiles del suelo sometido a diferentes formas de explotación, desde suelo bajo vegetación natural (patrón); en barbecho con pasto (conservado) y bajo cultivo intensivo de cebolla (agrogénico) por más de 15 años. Los parámetros evaluados fueron la densidad de volumen, el peso específico, color, estructura, así como otras características propias para este tipo de agrupamiento de suelo. Por su parte se realizó una caracterización siguiendo los criterios de las clasificaciones genéticas tanto cubana, como internacionales como el *World Reference Base* y la *Soil Taxonomy* respectivamente. Los resultados permitieron constatar las modificaciones que experimentan las propiedades físicas del suelo expresado en los parámetros estudiados donde las afectaciones más significativas se encuentran en el perfil cultivado>conservado>patrón.

## **SYNTHESIS**

This research was carried out on the farm "La Esperanza" belonging to the CCS "Ramón Pando Ferrer" of the Popular Banao Council in the municipality of Sancti Spiritus. The objective was to evaluate the Changes produced in the physical properties of Leached Soil Ferralitic network based on its use and management in conditions of pre-mountain. We analyzed three profiles of soils under different management systems grouped as: (I) Benchmark (under natural tree cover for more than 50 years); (II) Conservation soils (formerly cultivated then turned to pasture for more than 15 years); and (III) Agrogenic (soils under intensive cultivation for more than 15 years). The parameters evaluated were bulk density, particle density, color, structure, as well as other characteristics for this type of soil. We also carried out a characterization following the genetic classifications both Cuban and international as the *World Reference Base* and the *Soil Taxonomy* respectively. The results allowed to verify the changes experienced by the chemical properties of the soil expressed in the studied parameters where the most significant effects in Agrogenic profile> Conservation> Benchmark.

## ÍNDICE

Contenido	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 Génesis de los suelos tropicales en Cuba.	4
1.2 La degradación de los suelos de Cuba.	6
1.3 Condiciones de formación y procesos de formación de los suelos ferralíticos.	7
1.4 Cambios en las propiedades de los suelos por el uso de la tierra.	9
1.5 Cambios en el suelo por las transformaciones de los ecosistemas a los agroecosistemas.	11
1.6 Degradación de los suelos por la influencia antrópica.	12
1.7 Efecto de la degradación sobre las propiedades físicas del suelo.	13
1.7.1 La degradación de los suelos por compactación.	14
1.8 Tiempo de cambio de las propiedades del suelo	15
2. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1 Localización del experimento	16
2.2 Perfiles de suelos estudiados	16
2.2.1 Perfil 1: Tomado bajo vegetación espontanea sin cultivo por más de 50 años (Patrón).	16
2.2.2 Perfil 2: Tomado en área de pastos en los últimos 15 años (Conservado).	16
2.2.3 Perfil 3: Tomados en área de cultivo intensivo de cebolla por más de 15 años (Agrogénico).	17
2.3 Descripción de los perfiles.	17
2.4 Caracterización de las propiedades físicas del suelo.	17
2.4.1 Densidades del suelo.	17
2.4.2 Porosidad del suelo	18
2.5 Caracterización morfológica del suelo	19
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1 Descripción de los perfiles.	21
3.2 Propiedades físicas de los suelos.	27
CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

## INTRODUCCIÓN

Desde que surge la agricultura, allá por las antiguas civilizaciones como Mesopotamia, India y China, el hombre ha influido en el cambio de las tierras vírgenes, es decir los suelos. Este problema se agudizó sobre todo después de la segunda guerra mundial del siglo pasado. A partir de este momento surge la llamada Revolución Verde, y comienza la aplicación intensiva de agroquímicos en la agricultura (fertilizantes y pesticidas), el riego y la mecanización. La aplicación continuada de fertilizantes conlleva a la disminución de la flora microbiana en el suelo, reduciéndose la actividad biológica, la mecanización conlleva a que surjan los problemas de compactación del suelo y el riego cuando no se maneja con eficiencia, conlleva a problemas de erosión, empantanamiento o a la salinización secundaria en los suelos. Es decir, surgen los procesos de degradación de los suelos, que se agudiza en la segunda mitad del Siglo XX (Olivera, 2014).

En el transcurso del último milenio casi todos los suelos sufrieron alguna modificación por la acción humana, directa o indirectamente. De este modo, en la actualidad, la génesis de muchos suelos está regulada más por los efectos humanos que por los factores formadores naturales. Tal es la magnitud de estas transformaciones que algunos autores hablan de, evolución agrogénica de los suelos (Lebedeva *et al.*, 2005).

La degradación de los suelos, entendida como los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual y/o futura del suelo para sostener la vida humana (Oldeman, 1989), está relacionada con el régimen climático, las condiciones geomorfológicas y las características intrínsecas de los suelos, pero sobre todo con la deforestación, el establecimiento de sistemas agrarios inapropiados y el impacto que causan las políticas públicas en el medio ambiente. Esta degradación se debe principalmente a la erosión hídrica y eólica ocasionada por el manejo de suelos sin vegetación y a la pérdida de otras características importantes para su fertilidad debido a la carencia de buenas prácticas agrícolas y pecuarias (Michelena *et al.*, 2008).

En los últimos años diferentes organismos internacionales han señalado que una de las causas principales de la degradación de los suelos en América Latina es, sin duda, la aplicación de técnicas de labranzas inadecuadas, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la disminución de los rendimientos agrícolas y más importante aún, el deterioro del medio ambiente. Para nadie es un secreto que en ambientes tropicales los procesos de degradación del suelo son más intensos y ocurren en un menor lapso de tiempo, lo que provoca que las pérdidas del potencial productivo de los suelos sean más significativas. Esto se debe a que las temperaturas son más elevadas al igual que las precipitaciones lo que hace que los procesos de meteorización sean más acelerados que en las condiciones de clima templado.

En Cuba los problemas de degradación se manifiestan en un alto por ciento por un inadecuado manejo y explotación de los suelos, estas áreas más afectadas son de topografía abrupta y las sometidas al cultivo intensivo, en las cuales no se desarrollan prácticas de manejo y conservación adecuada. Es por ello que en la actualidad el 70 % de los suelos de nuestro país sufren en mayor o menor grado el efecto de los procesos erosivos, conjugándose factores de diversa índole que limitan el rendimiento de los cultivos a valores inferiores a 70 % de su potencial productivo lo cual es alarmante para un país con gran presión demográfica, dado que el primer síntoma de la reacción en cadena desatada por la erosión es la disminución del rendimiento agrícola (Hernández *et al.*, 2009).

En Sancti Spíritus los principales problemas de degradación del suelo se encuentran asociado al inadecuado manejo de los agroecosistemas productivos, estas áreas más vulnerables las sometidas a monocultivos como el arroz (*Oryza sativa* L), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) y la cebolla (*Allium cepa* L) al sur del territorio. En función del cultivo de la cebolla y en condiciones de premontaña se desarrolló una investigación en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado sometido a diferentes tipos de manejo, se tuvo en cuenta que este cultivo en la provincia, específicamente en la región de Banao representa la mayor producción a nivel nacional, que ocupa una actividad practicada principalmente por los pequeños

agricultores (sector privado), los cuales reconocen que los suelos de la región han sido mal protegidos y sobreexplotados, por lo que los campesinos se han visto obligados a trasladarse a otras áreas más próximas a la montaña, en busca de mejores rendimientos (Lorenzo, 2006; Rodríguez *et al.*, 2016).

En efecto, la solución de los principales problemas que afectan a los suelos agrícolas de Cuba, debe ser vista con un enfoque sistémico e integrador y no como una solución aislada, pues se concatenan factores naturales y antrópicos (Morell, 2013).

### **Problema científico**

¿Cómo influye el cultivo intensivo de la cebolla (*Allium cepa* L) en el cambio de las propiedades físicas - morfológicas de un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado en área de pre - montaña?

### **Hipótesis**

Mediante la caracterización física - morfológica del perfil del suelo se podrá conocer cómo influye el cultivo intensivo de la cebolla en el cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en Banao.

### **Objetivo general**

Determinar los cambios en las características físicas, morfológicas de un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, atendiendo al tipo de uso y manejo en la finca “La Esperanza”

### **Objetivos específicos:**

- Evaluar el comportamiento de las propiedades físicas - morfológicas en el área de estudio en función del manejo.
- Clasificar los suelos de composición ferralítica en el área evaluada, así como su correlación con las clasificaciones internacionales.

## **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

### **1.1 Génesis de los suelos tropicales en Cuba.**

Numerosos aportes se han hecho sobre el concepto y la definición de los nuevos Procesos de formación de suelo en lo adelante PFS. Así tenemos que, para Chi, (1964) y Buol *et al.*, (1991), en el PFS tienen lugar diversos fenómenos que se contradicen o son de tendencias opuestas y dan lugar a diferentes etapas o secuencias en la formación del suelo. Este criterio de la participación de tendencias opuestas en el proceso de formación del suelo es compartido también por Varallyay (1990). Por otra parte, para las condiciones tropicales de Cuba (Hernández y Durán 1983), destacan que en los PFS donde predomina la edafogénesis de la masa mineral del suelo, se presentan diferentes estadios o etapas de evolución (sialitización, fersialitización incompleta o paraferalitzación, ferralitización, ferritización y alitización), lo que se aplica en la clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández y Ascanio 2000).

En el caso de los suelos tropicales, las condiciones de formación de los suelos son particulares respecto a las de los suelos de zonas templadas. Las regiones tropicales se caracterizan por la existencia de un régimen pluviométrico con dos estaciones, una lluviosa y una seca. El total de precipitaciones durante el año varía de 1 300 a 2 000 mm, de acuerdo a la zonalidad presente y las temperaturas medias oscilan alrededor de 20 - 25 °C, con mínimas superiores a cero grados y máximas superiores a 30 °C. La evapotranspiración y la humedad relativa son elevadas. Por tanto, no se manifiestan procesos de congelación en el suelo, la materia orgánica se degrada con facilidad por las altas temperaturas, lo que unido al lavado vertical y horizontal que provocan las fuertes lluvias, hace que el perfil del suelo se desarrolle poco en profundidad y la acumulación de materia orgánica sea menor que en las regiones templadas (Hernández, 2003).

Los factores edafógenos más imponentes en Cuba, que permiten la diferenciación de nuestros suelos, son: la roca madre, expresada generalmente a través de las formaciones superficiales y el relieve, que facilita o dificulta los procesos edafógenos.

A continuación, el clima, que suministra el agua necesaria para las soluciones, las temperaturas, que aceleran las reacciones químicas, el vehículo que transporta las partículas (agua o viento) y determina, en gran medida, los organismos presentes (cobertura vegetal y animales) y, por último, el tiempo de evolución, porque casi todos los suelos cubanos son muy jóvenes (pleistocénicos y holocénicos), con la posible excepción de los ferríticos o latosoles (pliocénicos) y la acción antrópica que, como consecuencia de la deforestación y la agricultura, ha dado lugar a un intenso lavado y a una erosión acelerada (Morell, 2006).

En las regiones de sabanas, la presencia de materia orgánica es menos abundante, los ácidos húmicos son más raros y el suelo se deseca estacionalmente, por lo que la lixiviación del hierro es menos notable y se limita a sitios particularmente favorables. Estos procesos y la alteración arcillosa, conducen a la individualización del aluminio y al teñido de los suelos de colores rojizos por el óxido de hierro, proceso específico que se denomina *laterización o ferralitización* (Hernández *et al.*, 2005 a).

Este colectivo de científicos plantea que existen regularidades en el origen de nuestros suelos; entre otras: sobre las llanuras calizas se producen suelos calizos rojos y pardos, humificados, cuando la presencia de abundante vegetación y las pendientes permiten la acumulación de materia orgánica; si están muy evolucionados se forman entonces ferralíticos rojos (o latosólicos); si las condiciones hidrodinámicas y la poca pendiente permiten acumulaciones estacionales de agua, más o menos permanentes, se desarrollan los procesos de gleyzación y, si estas condiciones se acentúan cuando están junto al mar, constituyen suelos de ciénagas costeras; sobre materiales efusivosedimentarios, en áreas onduladas, se desarrollan suelos pardos tropicales; sobre las cortezas de intemperismo ferríticas o polimetálicas de las rocas ultrabásicas, suelos ferríticos (o latosoles)

En el año 1971, el Instituto de Suelos, la Academia de Ciencias de Cuba publicó el Mapa genético de suelos a escala 1:250 000, basado en cuatro años de levantamiento cartográfico de los suelos en el campo, trabajo que fue seguido por

estudios químicos y físicos de laboratorio. En el año 1973, el mismo organismo publicó el texto explicativo del mapa bajo el nombre de *Génesis y clasificación de los suelos de Cuba*. Hasta el momento esta es la obra general más completa sobre los suelos cubanos (Hernández, 2003).

## **1.2 La degradación de los suelos de Cuba.**

Existen varias formas de la degradación de los suelos, que se aprecian a simple vista. Todos, en algún momento, hemos visto cómo, en las pendientes, los suelos han perdido la capa más oscura, que se encuentra en la parte superior y aparece un color más claro, que llega muchas veces a colores amarillentos o blanquecinos. En los lugares más críticos, se puede observar que la roca aparece en la superficie y sólo queda una capa muy delgada de suelo. Puede ocurrir que esas condiciones, se deban a factores naturales, pero, en la mayoría de los casos, lo que ha ocurrido es que el agua se ha llevado la parte superior del suelo y lo ha empobrecido, de forma que ha perdido su capacidad para sostener a las plantas y, a través de ellas, a micro y macroorganismos (Martín *et al.*, 2008).

En nuestro país el proceso de degradación se manifiesta en un alto por ciento, por un inadecuado manejo y explotación de los suelos, además de las condiciones climáticas, topográficas y edafológicas existentes, que han dado lugar a la erosión entre fuerte a media, la cual ocupa una extensión de 2,9 millones de hectáreas (MMha), la salinidad y sodicidad que afecta alrededor de 1 MMha, la compactación con 1,6 MMha, pérdida de materia orgánica y la fertilidad con alrededor de 4,7 MMha, y 3,0 MMha respectivamente, entre otras (Riverol *et al.*, 2001).

En la actualidad, más del 40 % de los suelos cubanos presentan afectaciones por erosión y si se refiere a la erosión potencial, ese porcentaje se eleva hasta el 56 %, lo cual es alarmante si se considera que el primer signo de la reacción en cadena desatada por la erosión es la disminución del rendimiento agrícola. En algunas regiones del país se manifiestan con fuerza los procesos de erosión (Olivera, 2012 b).

Según Cuellar *et al.* (2003) uno de los principales problemas ambientales identificados en Cuba es la degradación de los suelos, que afecta la mayor parte de la superficie agrícola del país (6,9 millones de hectáreas) (Tabla 1).

**Tabla 1. Porcentaje de áreas afectadas por procesos degradativos.**

Procesos degradantes	Área afectada (%). Años	
	2001	Pronóstico 2016
Salinidad y sodicidad	14,9	22,4
Erosión de fuerte a media	43,3	52,3
Mal drenaje	40,3	43,3
Mal drenaje interno	26,9	-
Baja fertilidad	44,8	52,3
Compactación elevada	23,9	28,4
Acidez (pH KCl < 6)	24,8	43,3
Baja retención de humedad	37,3	41,9
Pedregosidad y rocosidad	11,9	13,5
Muy bajo contenido de materia orgánica	69,6	77,7

*Fuente: Instituto de suelos, 2001.*

Las investigaciones llevadas a cabo por diferentes instituciones, entre las cuales se podría citar al Instituto de Suelos, el Instituto de Investigaciones Forestales, la Universidad Agraria de la Habana y la Universidad de Sancti Spíritus, indican que el problema de la erosión en Cuba no tiene carácter local, sino que aunque con diferente magnitud es muy abarcador, es por ello que se reporta un total de 4,0 MMha con afectaciones en todo el país, cifra que por demás tiene la tendencia a seguir incrementándose si no se toman las medidas necesarias para su control (Olivera, 2012 b).

### **1.3 Condiciones de formación y procesos de formación de los suelos ferralíticos.**

Desde el surgimiento de la línea genética en la edafología cubana, el proceso de formación de los suelos Ferralíticos Rojos se relacionó inicialmente con la latosolización y posteriormente con la ferralitización (Hernández *et al.*, 1999). En los

momentos actuales este proceso sirve para clasificar los Ferralsoles en las diferentes variantes del *World Reference Base* (Driessen, 2001).

Según Morell, (2006) se enuncia en la forma siguiente: ferralitización es la hidrólisis en un estado avanzado. Si la temperatura del suelo es alta y la percolación intensa, (clima húmedo), todos los minerales primarios intemperizables serán disueltos y removidos de la masa del suelo. Los compuestos menos solubles, tales como los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio y granos gruesos de cuarzo, permanecen dentro de la masa del suelo.

La ferralitización (o desilicificación como es llamado también) tiene lugar en las siguientes condiciones:

Productos de intemperismo disueltos a concentraciones de pH bajo en la solución, que promueve la salida de la sílice y la concentración de niveles altos de hierro y aluminio.

Es esencial la estabilidad geomorfológica en superficies relativamente antiguas.

Material que contiene hierro y aluminio en condiciones fácilmente intemperizables y con poca sílice.

La ferralitización es un proceso que tiene que ver con el pedomorfismo de la parte mineral del suelo y pasa anteriormente por las etapas de sialitización y fersialitización.

En condiciones de clima tropical húmedo, al continuar el proceso de lavado en el tiempo y espacio, la reacción del suelo se vuelve más ácida, y esta acidez actúa a su vez sobre:

- Las estructuras de los minerales primarios y alteritas que quedan, contribuyen así a la intensificación del proceso de intemperismo.
- La estructura de los aluminosilicatos secundarios del tipo 2:1, que conlleva a la formación de minerales arcillosos del tipo 1:1 y liberación de aluminio.

- El aluminio en presencia de agua produce acidez y libera iones H<sup>+</sup>, como se representa en la reacción siguiente:



La acumulación del hierro libre en esta etapa es mayor y alcanza de 6 - 8 % o más, siempre mayor de 60 % con relación al Fe total. El suelo adquiere color rojo, rojo amarillento prácticamente en el perfil completo, con excepción del horizonte A, que es de tono más oscuro, por la influencia de la materia orgánica, lo que al mismo tiempo es mucho más profundo, que llega incluso a formarse cortezas de intemperismo. Esta etapa de formación del suelo se conoce como ferralitización, y es una formación típica del clima tropical húmedo, donde se forma perfiles del tipo ABC (Martín y Durán, 2008).

Con el proceso de evolución ferralinica, presentan, en general, una alteración profunda de los minerales primarios, una eliminación de la mayor parte de las bases alcalinotérreas y una parte de la sílice, con materia orgánica bien evolucionada. Se desarrollan, esencialmente, a partir de rocas calcáreas y esquistos, no esencialmente cuarzosos; en menor grado pueden encontrarse sobre rocas ígneas. Perfil de tipo ABC, que contiene un horizonte A, con materia orgánica del 2 al 4 %, capacidad de cationes cambiabiles (CCB) baja, generalmente menor de 20 cmol/100g. El pH oscila entre 6 y 6,5 con excepción de los suelos esquistosos, donde disminuye considerablemente. Poseen relación molecular SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 1,9 a 2,2 y SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 1,3 a 1,6 (donde R<sub>2</sub> significa Al<sub>2</sub> o Fe<sub>2</sub>); generalmente son arcillosos y de estructura definida; relación H: F cercana a 0,7 (H: F, relación ácido húmico: ácido fúlvico) (Hernández *et al.*, 2005 a).

#### **1.4 Cambios en las propiedades de los suelos por el uso de la tierra.**

El suelo, considerado como uno de los recursos naturales más preciados del planeta se encuentra en verdadero peligro, y con él, la seguridad alimentaria de una población tan creciente y necesitada. La degradación de los suelos es una manifestación que produce los Cambios Globales, como aquellos vinculados con los

cambios en el uso y en la cobertura de la tierra, en la diversidad biológica, en la composición de la atmósfera y en el clima (Urquiza, 2008).

El uso intensivo de los suelos ha conllevado a cambios globales, que afectan la capacidad productiva de las tierras, a través de su influencia sobre la vegetación y tipos de usos posibles en la agricultura, la escorrentía, evaporación, calidad de las aguas freáticas. Directa o indirectamente tales cambios del suelo tienen un efecto sustancial sobre las condiciones climáticas globales, las que a su vez influyen en los suelos (Borges, 2004).

Según Alfonso, (2002) en las regiones tropicales los procesos de transformación de las propiedades de los suelos por el cambio del uso de la tierra y su posterior explotación agrícola intensiva conlleva a los cambios siguientes:

- Deforestación: cambio de los ciclos biológico, hídrico y térmico del suelo. En suelos de laderas hay pérdidas iniciales de suelo.
- Cultivo: en pocos años ocurre la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS). En suelos de laderas se provoca el proceso erosivo.
- Intensificación de las labores agrícolas: continúa la disminución del contenido de MOS. Deterioro de la estructura y microestructura del suelo. Aumento del factor de dispersión y de la densidad aparente del suelo.
- Aplicación intensiva de fertilizantes y pesticidas: continúa la disminución de la materia orgánica, sigue el proceso de la destrucción agrotécnica del suelo y afectación de la microflora edáfica.
- Uso intensivo con mecanización, fertilizantes y pesticidas: deterioro completo del suelo con: disminución de la materia orgánica a menos de 1 %, provoca el surgimiento de un piso de arado en la parte superior del horizonte B, lo que disminuye la profundidad efectiva del suelo, aumento de la densidad aparente a límites superiores a la densidad crítica del suelo, surgimiento de estructura en forma de bloques, destrucción de microagregados, aumento de la arcilla

dispersa y aumento del factor de dispersión por encima de 20 - 30 % y disminución considerable de la actividad biológica del suelo.

- Resultado final: cambio en la vocación del suelo que inicialmente podría clasificarse como Clase 1, apto para todos los cultivos, que pasa a Clase 3 - 4, que requiere labores de mejoramiento como: aplicación urgente de materia orgánica, aplicación de subsolador, rotación de cosecha, disminuir la intensificación de la explotación agrícola.

### **1.5 Cambios en el suelo por las transformaciones de los ecosistemas a los agroecosistemas.**

El ecosistema es ante todo un sistema integrado por diferentes componentes, los cuales están en equilibrio y donde cada componente puede tener varios estados, determinado por las relaciones entre los propios componentes. Se hace necesario pues, que el hombre conozca el estado de los diferentes componentes (clima, suelo, vegetación y biodiversidad) y sus relaciones dentro del ecosistema para poder tener un manejo adecuado en la transformación al agroecosistema y de esa forma evitar la degradación del medio. Muchas veces el suelo que ponemos en explotación agrícola tiene una serie de propiedades (nivel de fertilidad, capacidad de intercambio catiónico, nódulos, tipo de minerales arcillosos, bases cambiables y textura), que no están en equilibrio con las condiciones climáticas actuales (Targulián, 1990).

Este propio autor plantea que hoy día la situación está caracterizada por numerosas formas de la actividad humana sobre la tierra y los océanos, que han conllevado al deterioro, degradación y aún completa destrucción de los sistemas naturales y/o de sus componentes. El incremento de esta situación en los últimos 50 - 60 años ha creado incertidumbre de nuestro conocimiento y comprensión para manejar eficazmente la naturaleza en función del bienestar de hombre. No obstante, hay que reconocer que cuando hay un manejo adecuado de la situación se obtienen resultados favorables, desde el punto de vista agrícola en la recuperación de suelos, como es el caso de la recuperación de áreas pantanosas por métodos de drenajes, formación de suelo (recultivación) en zonas afectadas por la minería, aplicación

adecuada de riego con elevación del rendimiento de las cosechas, desalinización de áreas infértiles.

Pero existen muchas experiencias que evidencian que el hombre en su afán por suplir sus necesidades, ha dado lugar a cambios en las propiedades de los suelos que constituyen procesos de degradación, muchas veces irreversibles. Bruce *et al.*, (1987), plantean que las prácticas de producción de cultivos han degradado la superficie de los suelos en grandes áreas. Plantea que la superficie degradada de los suelos produce grandes cantidades de escurrimientos, son bajos en materia orgánica, en actividad biológica y muestran insuficiencia en los nutrientes esenciales para las plantas.

Esto concuerda con lo expresado por García *et al.*, (2000) la cual plantea la intensificación de la agricultura como una causa de la disminución de las tierras agrícolas, e insuficiente producción de alimento en los trópicos. Los cambios en el uso no adecuado de los suelos por agricultores, decrece significativamente en corto tiempo la productividad de los cultivos. Esto puede ser explicado por el agotamiento de los nutrientes y las modificaciones en las características físicas y biológicas de los suelos.

### **1.6 Degradación de los suelos por la influencia antrópica.**

Desde hace tiempo las regiones tropicales del planeta se estimaron como las grandes reservas para la producción de alimentos para el consumo mundial, incluso para la demanda de alimentación de una población que alcanza los 6 000 millones de habitantes al final del milenio. Sin embargo, estas reservas se han reducido poco a poco por la explotación indiscriminada de los ecosistemas tropicales (Ortiz *et al.*, 1995).

Según este grupo de investigadores en los países más desarrollados, la actividad humana en el aumento de la producción agropecuaria ha conllevado a la asimilación de tierras vírgenes y terrenos baldíos, con la aplicación intensiva de recursos técnicos en la agricultura como son la mecanización, el riego y la quimización

principalmente. Los factores que favorecen la degradación de las tierras son: la sobrepoblación, la sobreexplotación, los cambios inadecuados de uso del suelo, las tecnologías inadecuadas, las presiones socio - económicas y políticas de las tradiciones culturales adoptadas.

Hernández *et al.* (2005 a), plantean que los cambios globales en los suelos inducidos por el hombre conllevan en muchos casos a procesos de degradación; que se enumera para las regiones tropicales las siguientes: sabanización, empobrecimiento, erosión, acidificación, empantanamiento, salinización secundaria, contaminación, destrucción agrotécnica y mecánica y disminución de la fertilidad.

### **1.7 Efecto de la degradación sobre las propiedades físicas del suelo.**

Uno de los problemas más serios que se presenta en la agricultura, es la manifestación de diferentes procesos de degradación de los suelos, lo que trae consigo el detrimento de los rendimientos agrícolas. Entre los principales procesos de degradación, se encuentran la erosión, compactación, acidificación y salinización de los suelos (Hernández *et al.*, 2002).

Como se ha explicado, el suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva (Rucks *et al.*, 2004).

Este grupo de científicos plantean que la condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la

actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo en lo posible.

Hernández y López (2002), describe la textura como una de las características morfológicas más importantes del perfil, por cuanto, en función de las variaciones texturales se puede predecir la profundidad efectiva, la infiltración, la erosión, fertilidad y productividad del suelo.

### **1.7.1 La degradación de los suelos por compactación.**

Hasta finales de los 90, la labranza limpia y la intensificación de las actividades agrícolas predominaron en la agricultura cubana, debido entre otras causas a la modernización que se introdujo en las últimas décadas. La utilización de implementos y maquinarias potentes para la preparación de las tierras, agravadas por el uso de sistemas de riego de alta productividad (DDA - 100 M, Fregat), esta tendencia unida al progresivo abandono de la utilización de diferentes fuentes orgánicas y al incremento del uso de agroquímicos, conllevaron a un deterioro físico y químico gradual de la estructura, manifestada en la disminución de la materia orgánica, desaparición de la actividad faunística (macrofauna), incremento del pH, disminución de la flora edáfica y como consecuencia, la aparición de capas compactas al nivel de los 13 - 17 cm (Olivera, 2012 a).

Este propio autor plantea que la compactación es una forma de degradación que afecta principalmente los suelos Ferralíticos Rojos de la llanura Habana - Matanzas, Ciego de Ávila (Ultisoles), así como los suelos Pardos (Cambisoles), del centro del país, lo que provoca la caída de los rendimientos en cultivos como la papa (*Solanum tuberosum* L), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), viandas y vegetales. La extensión de ésta forma de degradación es de alta consideración, y su corrección es imprescindible, lo cual se facilita por la existencia de las tecnologías apropiadas, derivadas de las investigaciones precedentes. A continuación, podremos observar como el cultivo continuado (monocultivo), de la caña de azúcar, ha conllevado a un piso de arado en superficie, lo cual indica una alta compactación, debido a la maquinaria pesada y malas prácticas de preparación del suelo.

La compactación inducida por el hombre es uno de los procesos degradativos de los suelos más difundidos en la agricultura. La cosecha mecanizada y el paso de equipos de transporte por el mismo surco reportan los efectos más perjudiciales, sobre todo cuando esta se realiza en condiciones de alta humedad. El laboreo con arados y gradas de discos, compacta la zona cercana a la superficie, lo que forma lo que se conoce como “piso de arado”, especialmente cuando el suelo está húmedo, (Santana *et al.*, 2007).

### **1.8 Tiempo de cambio de las propiedades del suelo**

Durante la formación natural del suelo, no todas las propiedades tienen el mismo tiempo de cambio. Hay propiedades que cambian en un período corto de tiempo como la humedad, densidad de volumen o aparente, porosidad. Pero hay propiedades que cambian más lentamente, como la acumulación de la materia orgánica, la formación de minerales secundarios, hasta llegar a la composición mecánica del suelo que cambia en un período muy largo de tiempo (Varallyay, 1990).

Los cambios enumerados anteriormente son los que ocurren en condiciones naturales de la formación del suelo, los cuales se aceleran cuando interviene el hombre. Siempre las características que se afectan son aquellas que cambian más rápido, por esto el primer cambio que se puede apreciar por la influencia del cultivo continuado es con relación a las características morfológicas del suelo (Hernández *et al.*, 2014).

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Localización del experimento.**

La presente investigación se realizó durante los meses de octubre de 2015 a febrero de 2016 en la finca “La Esperanza” perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicio (CCS) fortalecida “Ramón Pando Ferrer” en la comunidad agrícola de Banao, situada al suroeste del municipio cabecera de la provincia de Sancti Spíritus, en las coordenadas X: 216 000 - 218 000 y Y: 539 000 - 550 000 de acuerdo al sistema de coordenadas plano rectangular Cuba Norte, hoja cartográfica 4 281 - II - b publicado por Geocuba (Rodríguez *et al.*, 2016).

Para dar cumplimiento a los objetivos trazados se realizaron tres perfiles de un mismo suelo, pero bajo diferentes formas de manejo y uso, los cuales serán descritos posteriormente. El relieve de la finca va desde llano a ondulado con pendientes predominantes que oscilan entre 0,5 y 5 % (condiciones de premontaña, (Rodríguez *et al.*, 2016). Se tuvieron en cuenta para el análisis de las características físicas (color, textura, estructura, porosidad (P), densidad de volumen o densidad aparente (Da) y peso específico o densidad real (Dr), de acuerdo a los criterios de evaluación descrito por (Hernández *et al.*, 2014).

### **2.2 Perfiles de suelos estudiados**

#### **2.2.1 Perfil 1: Tomado bajo vegetación espontanea sin cultivo por más de 50 años (Patrón).**

Para tomar en consideración el criterio del perfil patrón o de referencia, se tiene en cuenta que el área de localización para la toma de muestras, se encuentre lo más próximo a sus condiciones naturales, es decir sin la incidencia del factor antrópico.

#### **2.2.2 Perfil 2: Tomado en área de pastos en los últimos 15 años (Conservado).**

Para este perfil tenemos como criterio que el suelo haya sido cultivado inicialmente y posteriormente se haya dejado de cultivar y se encuentre en barbecho o pasto, por

un periodo mayor o igual a 15 años, lo que permite que mejoren paulatinamente las características del mismo en comparación a su estado de cultivo.

### **2.2.3 Perfil 3: Tomados en área de cultivo intensivo de cebolla por más de 15 años (Agrogénico).**

Tomado bajo cultivo intensivo, en nuestro caso el cultivo de la cebolla por un período superior a los 15 años de explotación intensiva, según el criterio de una agricultura convencional para esta aliícea.

Para determinar el estado actual del suelo en estudio se tiene en cuenta los objetivos trazados, se analizaron y caracterizaron los siguientes parámetros:

### **2.3 Descripción de los perfiles.**

Se realizó por el Manual Metodológico para la Cartografía Detallada y la Evaluación Integral de los Suelos de (Hernández *et al.*, 1995) y su clasificación mediante la “Clasificación Genética de los Suelos de Cuba” (Hernández *et al.*, 2015). Por su parte también se correlacionaron los suelos (Hernández *et al.*, 2005 b) con las clasificaciones internacionales de la *World Reference Base* (WRB, 2014) y la *Soil Taxonomy* (2010).

### **2.4 Caracterización de las propiedades físicas del suelo.**

El tipo de suelo en la unidad experimental de la finca “La Esperanza” es Ferralítico Rojo Lixiviado Nodular Ferruginoso sobre esquistos que se puede correlacionar, con el Lixisol Ródico Éutrico de la *World Reference Base* (2014) y con Mollic Rhodustalf por la *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2010).

#### **2.4.1 Densidades del suelo.**

Se determinó la densidad de volumen o densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) en dependencia del contenido de humedad por la ecuación [1] y la escala propuesta por Martín y Durán (2008) que se muestra en la tabla 2. La misma fue evaluada cada 10 y hasta 40 cm de profundidad con el empleo de cilindros de 100 cm<sup>3</sup> de volumen, los

cuales penetran en el suelo, facilitado por su borde afilado y mediante golpes que reciben en la parte superior sin dañar su estructura. La extracción de la muestra se realiza mediante excavaciones con un cuchillo próximo al borde del cilindro. Para obtener el valor medio de la muestra se promediaron los valores obtenidos por profundidad a partir del procedimiento matemático [2] sugerido por Luís y Martín (2003) y Pérez y Cid (2008).

$$D_a = \frac{m}{v \cdot n} \quad [1]$$

Donde.  $D_a$ : densidad del suelo ( $\text{kg dm}^{-3}$ );  $m$ : masa (g);  $v$ : volumen interior del cilindro ( $\text{cm}^3$ );  $n$ : número de muestras tomadas.

$$D_{a_{media}} = \frac{\sum D_{v(i)}}{n} \quad [2]$$

Donde.  $D_{a_{media}}$ : densidad del suelo promedio por profundidad;  $D_{a_{(i)}}$ : valores de la densidad del suelo en las diferentes muestras tomadas para una profundidad;  $n$ : número de muestras para una profundidad dada.

**Tabla 2. Escala de densidad aparente del suelo.**

$D_a$ ( $\text{kg dm}^{-3}$ )	Clasificación
<1	Muy bajo
1,0 - 1,20	Normal
1,21 - 1,45	Compacto
1,45 - 1,60	Muy compacto
>1,60	Altamente compacto

**Fuente: Martín y Durán, (2008)**

Una vez tomadas las muestras suelos en las profundidades ya especificadas para cada perfil, se procedió al secado en la estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 72 horas hasta alcanzar un peso constante. Por su parte, para determinar la densidad de la fase sólida del suelo o peso específico ( $D_r$ ), se utilizó el método de los picnómetros, según la metodología de Rucks *et al.*, (2004).

### 2.4.2 Porosidad del suelo

Según Cairo y Fundora (2005 a), la porosidad de un volumen dado del suelo representa la fracción de unidad de volumen del suelo in situ, que no está ocupada por la materia sólida, se obtiene a partir del modelo matemático [3] recomendado por Cid *et al.*, (2006) y Dörner *et al.*, (2009).

$$P = \left(1 - \frac{D_v}{D_r}\right) \cdot 100 \quad [3]$$

Donde. P: Porosidad del suelo (%); Da: densidad del suelo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); Dr: Peso específico del suelo o densidad real en ( $\text{kg dm}^{-3}$ ).

### 2.5. Caracterización morfológica del suelo

Para la caracterización de la morfología del suelo se tuvieron en consideración diferentes criterios de (Hernández *et al.*, 1995) los cuales se enumeran a continuación:

- Tipos de horizontes genéticos
- Tipos de horizontes y características de diagnóstico
- Transición entre los horizontes
- Color por Tabla Munsell (Munsell Soil Color Charts, 2000)
- Tipo de estructura
- Humedad
- Consistencia

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del experimento se pudo constatar que para los tres perfiles es común el proceso de Ferralitización, fundamentado por su color, profundidad, características de diagnósticos y horizontes principales y normales; entre otras propiedades propias de este tipo de agrupamiento de suelo. Por su parte también se diagnosticó el proceso de lixiviación hacia el horizonte Bt, caracterizado por la textura, estructura y la presencia abundante de sobreescurremientos (cutanes), lo cual coincide con otros estudios desarrollados por (Borges, 2004; Morell *et al.*, 2004; Hernández *et al.*, 2005 a; Rodríguez *et al.*, 2016).

Por estos elementos, los tres perfiles se clasificaron como del tipo Ferralítico Rojo Lixiviado Nodular Ferruginoso, dentro del Agrupamiento de suelos Ferralíticos (Hernández *et al.*, 2015), que se puede correlacionar según (Hernández *et al.*, 2005 b) como el suelo Lixisol Ródico Éutrico según la *World Reference Base* (WRB, 2014) y Mollic Rhodudalf por la *Soil Taxonomy* (2010). Las diferencias en estos suelos están dadas por el tipo de manejo y utilización de la tierra, así como la distribución de los horizontes, su estructura y compactación.

Para Hernández *et al.* (2010) los procesos de degradación de los suelos es provocado por el desconocimiento de las condiciones edafológicas y de mejoramiento, cuando se va a poner en explotación agrícola una región determinada hacen énfasis estos autores en que el suelo es el espejo de la naturaleza, por lo que constituye un bloque de memoria, que registra y manifiesta todos los cambios que han ocurrido durante su formación a través de sus propiedades morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e hidrofísicas.

En la tabla 3 se observan los valores correspondientes a la descripción de perfil Patrón, donde se destaca el proceso de humificación producto de su elevado contenido de materia orgánica y un horizonte Am (mullido) propio de un suelo bajo estas condiciones.

**Tabla 3. Descripción del perfil patrón.**

<b>Perfil - No.1</b>	<b>Patrón</b>
<b>Localización:</b>	Finca la esperanza, debajo de plantación arbórea
<b>Hoja Cartográfica:</b>	Banao
<b>Altura (ms.n.m):</b>	297,34
<b>Provincia:</b>	Sancti Spíritus
<b>Diagnósticos</b>	
<b>Procesos de formación:</b>	Ferralitización, lixiviación, humificación
<b>Horizontes Principal de diagnóstico:</b>	Ferralítico; Secundario; A: Mullido; B. Argílico, Nodular ferruginoso
<b>Horizontes normales:</b>	Húmico, Argílico
<b>Características de diagnóstico:</b>	Características de color rojo
<b>Clasificación cubana (2015):</b>	Ferralítico Rojo Lixiviado, Mullido y Nodular Ferruginoso
<b>Soil Taxonomy (2010):</b>	Mollic Rhodudalf
<b>WRB (2014):</b>	Lixisol ródico, éutrico
<b>Procesos de formación:</b>	Ferralitización
<b>Factores de formación</b>	
<b>Posición fisiográfica del lugar:</b>	Pie de Montaña
<b>Vegetación natural:</b>	Marabú, Malva, Mango, Guásima, Ateje.
<b>Topografía del terreno circundante</b>	Ligeramente ondulada
<b>Microrrelieve:</b>	Con surcos
<b>Pendiente donde se tomó el perfil:</b>	2 %
<b>Vegetación o uso de la tierra:</b>	Bosque natural
<b>Cultivo asociado:</b>	Vegetación natural
<b>Clima:</b>	Tropical subhúmedo
<b>Precipitación anual:</b>	1 733,58 mm
<b>Temperatura media anual:</b>	25.2 °C
<b>Roca madre:</b>	Metamórfica y sedimentaria
<b>Drenaje: Superficial:</b>	Bueno
<b>Interno:</b>	Bueno

Horizonte	Prof.(cm)	Descripción
<b>Am</b>	0 – 23	Color en seco 2,5YR4/2 rojo débil y en húmedo 2,5YR3/2 rojo opaco, franco, estructura de bloques subangulares que se desmenuzan en granular, ligeramente compactado, muchos poros gruesos producto de las lombrices, fresco, con algunas gravas, muchas raíces, sin reacción al HCl, transición notable.
<b>B<sub>11</sub></b>	23 – 40	Color en seco 2,5YR4/3 pardo rojizo y en húmedo 2,5YR3/2 pardo rojizo oscuro, franco arcilloso, bloques subangulares de 5 – 7 cm y bloques angulares de 5 cm, compacto, mediano contenido de poros medianos, fresco, algunas gravas pequeñas de color oscuro, pocas raíces, sin reacción al HCl, transición notable
<b>B<sub>12gr</sub></b>	40 - 50	Color en seco 2,5YR4/4, pardo rojizo y en húmedo 2,5YR3/4 pardo rojizo oscuro, franco arcilloso, estructura no apreciable, compactado, porosidad igual al anterior, fresco, sin raíces, con 20 - 30 % de piedras de rocas oscuras, sin reacción al HCl, transición notable
<b>B<sub>2tfral</sub></b>	50 - 85	Color en seco 2,5YR4/4 rojo y en húmedo 2,5YR3/4 rojo oscuro, arcilloso, estructura poliédrica fina de 5 cm, compacto, muchos poros medianos y finos, fresco, casi sin raíces, algunas gravas de color oscuro, muchas gravas pequeñas de color blanco y puntos brillantes, con cutanes, sin reacción al HCl, transición notable
<b>B<sub>3nf</sub></b>	85 - 100	Color en seco 2,5Y7/8 amarillo y en húmedo 2,5Y6/8 amarillo olivo, con manchas negras de nódulos suaves ferromangánicos, franco a franco arcilloso, con bloques angulares y subangulares de 5 cm, finos, compactado, abundantes gravas pequeñas de color blanco y cristales pequeños de cuarzo, sin raíces, sin reacción al HCl

A continuación, se puede observar la descripción del perfil de suelo Conservado, tabla 4. En este perfil sobresale la pendiente de casi 3 %, donde a pesar de eso y de ser un suelo que estuvo bajo cultivo, sus propiedades posteriores a su estado de barbecho han mejorado en consideración al poder de recuperación de estos suelos, lo que se conoce además como “resiliencia del suelo” (Hernández *et al.*, 2014).

**Tabla 4. Descripción del perfil Conservado.**

<b>Perfil - No. 2</b>	<b>Conservado</b>
<b>Localización:</b>	Finca la esperanza, Banao, debajo de plantación arbórea
<b>Hoja Cartográfica:</b>	Banao
<b>Altura (msnm):</b>	297,34
<b>Provincia:</b>	Sancti Spíritus
<b>Diagnósticos:</b>	
<b>Procesos de formación:</b>	Ferralitización, lixiviación
<b>Horizontes Principal de diagnóstico:</b>	Ferralítico; Secundario; A: Mullido; B. Argílico, Nodular ferruginoso
<b>Horizontes normales:</b>	Húmico, Argílico
<b>Características de diagnóstico:</b>	Características de color rojo
<b>Clasificación cubana (2015):</b>	Ferralítico Rojo Lixiviado, Mullido y Nodular Ferruginoso
<b>Soil Taxonomy (2010):</b>	Mollic Rhodudalf
<b>WRB (2014):</b>	Lixisol ródico, éutrico
<b>Procesos de formación:</b>	Ferralitización
<b>Factores de formación:</b>	
<b>Posición fisiográfica del lugar:</b>	Pie de Montaña
<b>Vegetación natural:</b>	Cardo santo, celestino azul, hierba fina.
<b>Topografía del terreno circundante:</b>	Ligeramente ondulada
<b>Microrrelieve:</b>	Con surcos, alomado
<b>Pendiente donde se tomó el perfil:</b>	2,8 %
<b>Vegetación o uso de la tierra:</b>	Pasto
<b>Cultivo asociado:</b>	Cebolla
<b>Clima:</b>	Tropical subhúmedo
<b>Precipitación anual:</b>	1 733,58 mm
<b>Temperatura media anual:</b>	25.2 °C
<b>Roca madre:</b>	Metamórfica y sedimentaria
<b>Drenaje Superficial:</b>	Bueno
<b>Drenaje Interno:</b>	Bueno

Horizonte	Prof.(cm)	Descripción
<b>A</b>	0 - 18	Color en seco 10R3/4 rojo opaco y en húmedo 10R3/2 rojo opaco, franco, bloques subangulares que se fragmentan en granular, compactado, fresco, con muchos poros grandes de las lombrices, con grietas verticales hasta el límite con B <sub>1</sub> , presencia de raíces, con puntos finos brillantes y algunas gravas de color oscuro, sin reacción al HCl, transición notable
<b>B<sub>1</sub></b>	18 - 31	Color en seco 2,5YR3/6 rojo oscuro y en húmedo 2,5YR3/6 rojo oscuro, franco arcilloso, estructura de bloques angulares, compactado, fresco, con muchos poros medios y gruesos, presencia de láminas de mica, con pocas raíces, sin grietas, sin reacción al HCl, transición gradual
<b>B<sub>21t</sub></b>	31 - 54	Color en seco 2,5YR4/6 rojo y en húmedo 2,5YR4/4 pardo rojizo, arcilloso, estructura de bloques subangulares a poliédrica fina, compacto, mediana cantidad de poros medios y gruesos, algunas láminas de mica, sin raíces, sin grietas, sin reacción al HCl, transición gradual
<b>B<sub>22t</sub></b>	54 - 95	Color en seco 2,5YR4/6 rojo y en húmedo 2,5YR4/4 pardo rojizo, arcilloso, estructura poliédrica, compacto, con muchos poros medios y finos, con cutanes, sin raíces, sin grietas, sin reacción al HCl

En relación al perfil agrogénico o cultivado (tabla 5), se puede observar que las características del suelo se encuentran afectadas por las prácticas convencionales del cultivo de la cebolla, donde no se acometen acciones de manejo, ni mejoramiento que mitiguen ese efecto negativo. Uno de los cambios más notables se manifiesta en la estructura en superficie, donde no es tan buena como la de los suelos patrones y conservados, pues esta se cambia por bloques subangulares o prismáticos (Hernández *et al.*, 2014), que llega en ocasiones a aflorar un piso de arado en superficie producto de la compactación por las labores agrogénicas anexo 1.

**Tabla 5. Descripción del perfil Agrogénico**

<b>Perfil - No. 3</b>	<b>Agrogénico</b>
<b>Localización:</b>	Finca la esperanza, Banao, debajo de plantación arbórea
<b>Hoja Cartográfica:</b>	Banao
<b>Altura (msnm):</b>	297,34
<b>Provincia:</b>	Sancti Spíritus
<b>Diagnósticos</b>	
<b>Procesos de formación:</b>	Ferralitización
<b>Horizontes Principal de diagnóstico:</b>	Ferralítico; Secundario; A: Compactado; B. Argílico, Nodular ferruginoso
<b>Horizontes normales:</b>	Argílico
<b>Características de diagnóstico:</b>	Características de color rojo
<b>Clasificación cubana (2015):</b>	Ferralítico Rojo Lixiviado, Mullido y Nodular Ferruginoso
<b>Soil Taxonomy (2010):</b>	Mollic Rhodudalf
<b>WRB (2014):</b>	Lixisol ródico, éutrico
<b>Procesos de formación:</b>	Ferralitización
<b>Factores de formación</b>	
<b>Posición fisiográfica del lugar:</b>	Pie de Montaña
<b>Vegetación natural:</b>	Hierba fina.
<b>Topografía del terreno circundante:</b>	Ligeramente ondulada
<b>Microrrelieve:</b>	Con surcos, llano
<b>Pendiente donde se tomó el perfil:</b>	2 %
<b>Vegetación o uso de la tierra:</b>	Hortalizas
<b>Cultivo asociado:</b>	Cebolla
<b>Clima:</b>	Tropical subhúmedo
<b>Precipitación anual:</b>	1 733,58 mm
<b>Temperatura media anual:</b>	25.2 °C
<b>Roca madre:</b>	Metamórfica y sedimentaria
<b>Drenaje general:</b>	Bueno

Horizonte	Prof.(cm)	Descripción
<b>A</b>	0 - 10	Color en seco 2,5YR4/4 pardo rojizo y en húmedo 2,5YR3/2 rojo opaco, estructura de bloques subangulares, compactado. No tiene costra superficial. La actividad biológica de las raíces es poca, solo algunas raíces muy finas con posición de penetración vertical. Sin agrietamiento. Horizonte arado.
<b>B<sub>1</sub></b>	10 - 30	Color en seco 2,5YR5/6 rojo y en húmedo 2,5YR4/4 pardo rojizo, con estructura de bloques subangulares de 5 - 8 cm., compactado, seco, con presencia de cutanes, mediana porosidad, sin reacción al HCl, transición neta. No se observan galerías, piso de arado, con actividad biológica reducida, sin agrietamiento.
<b>B<sub>11t</sub></b>	30 - 78	Color en seco 5YR6/8 amarillo claro y en húmedo 5YR5/6 rojo amarillento, con manchas 2,5YR2, negro rojizo, suaves ferromangánicas, estructura poliédrica, ligeramente compactado, ligeramente húmedo, mayor cantidad de cutanes, con caras brillantes, muchos poros chicos y medios, cantidad apreciable (5 %) de nódulos ferromangánicos, redondeados y suaves, sin reacción al HCl, y transición gradual.

En relación a las densidades del suelo y la porosidad tabla 6, se pudo constatar que las mismas para una profundidad (0 - 40) cm se afectan por el uso y manejo del suelo. Estos indicadores analizados deben considerarse en conjunto para establecer las diferencias. Por otra parte, deben aplicarse en el diagnóstico para establecer medidas de mejoramiento en el manejo agropecuario de los suelos y en el futuro para la clasificación.

Es ampliamente apreciable que los valores que corresponde a la Da del perfil patrón (0,98 - 1,15 kg dm<sup>-3</sup>) y conservado (1,04 - 1,14 kg dm<sup>-3</sup>) se encuentran dentro del rango catalogados por Martín y Durán, (2008) como normal, en los primeros 40 cm del perfil, mientras que para el perfil agrogénico desde sus inicios los valores (1,63 - 1,94 kg dm<sup>-3</sup>) son catalogados por los propios autores como altamente compacto, diagnosticándose una fuerte compactación, lo que coincide con la descripción llevada a cabo en el campo y el laboratorio. Resultados similares en condiciones semejantes a nuestro estudio, fueron descritos por (Rodríguez *et al.*, 2016) quien encontró que para las profundidades desde (0 - 1 m) en el perfil patrón los valores de la densidad de volumen estuvieron entre (0,9 - 1,16 kg dm<sup>-3</sup>) lo que se corrobora con los resultados reflejado en nuestra investigación.

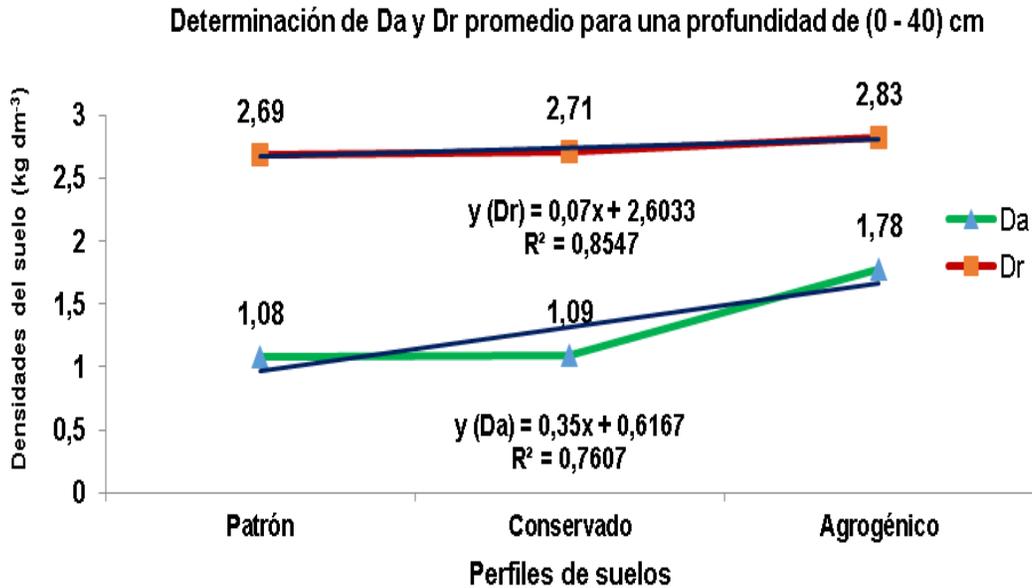
**Tabla 6. Densidades del suelo y porosidad total.**

	Profundidad	Da (kg dm <sup>-3</sup> )	Dr (kg dm <sup>-3</sup> )	Porosidad %
Perfil Patrón	0 - 10	0.98	2.59	62.16
	10 - 20	1.08	2.65	59.25
	20 - 30	1.11	2.74	59.49
	30 - 40	1.15	2.77	58.48
Perfil Conservado	0 - 10	1.04	2.65	60.75
	10 - 20	1.07	2.62	59.16
	20 - 30	1.11	2.77	59.93
	30 - 40	1.14	2.80	59.29
Perfil Agrogénico	0 - 10	1,63	2.82	42.20
	10 - 20	1,60	2.79	42.65
	20 - 30	1,98	2.86	30.77
	30 - 40	1,94	2.83	31.45

En relación a los valores de densidades del suelo (Da y Dr), se construyó la figura 1 para ver de forma clara como se afectan estas propiedades en cada uno de los perfiles en función del manejo para una profundidad promedio de 0 - 40 cm. Como se puede observar en el análisis de regresión lineal, la tendencia para ambas densidades del suelo es a incrementarse a medida que el suelo es más próximo a las condiciones agrogénicas, es decir de cultivo, pues aumentan los valores para ambas densidades alcanzándose el máximo valor en perfil cultivado o agrogénico.

Esto es explicado porque a medida que el suelo es cultivado se altera las propiedades del mismo, donde la degradación es más intensa, debido a las araduras que fragmentan los agregados del suelo, afectan la materia orgánica y por ende aumenta la compactación y disminuye el espacio poroso. Según los criterios más actuales de la Edafología internacional, estos suelos se corresponden con Antrosoles (según el WRB, 2014) o con Agrozións (que lo ponemos en español como Agrosoles), según la nueva versión de clasificación de los suelos de Rusia (Shishov *et al.*, 2004, Guerasimova *et al.*, 2005).

En relación al peso específico o densidad real, se puede constatar un comportamiento similar al expresado por la  $D_a$ , donde la tendencia fue desde 2,69 ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) para el suelo patrón, 2,71 ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) para el conservado y el más afectado el agrogénico con 2,83 ( $\text{kg dm}^{-3}$ ).

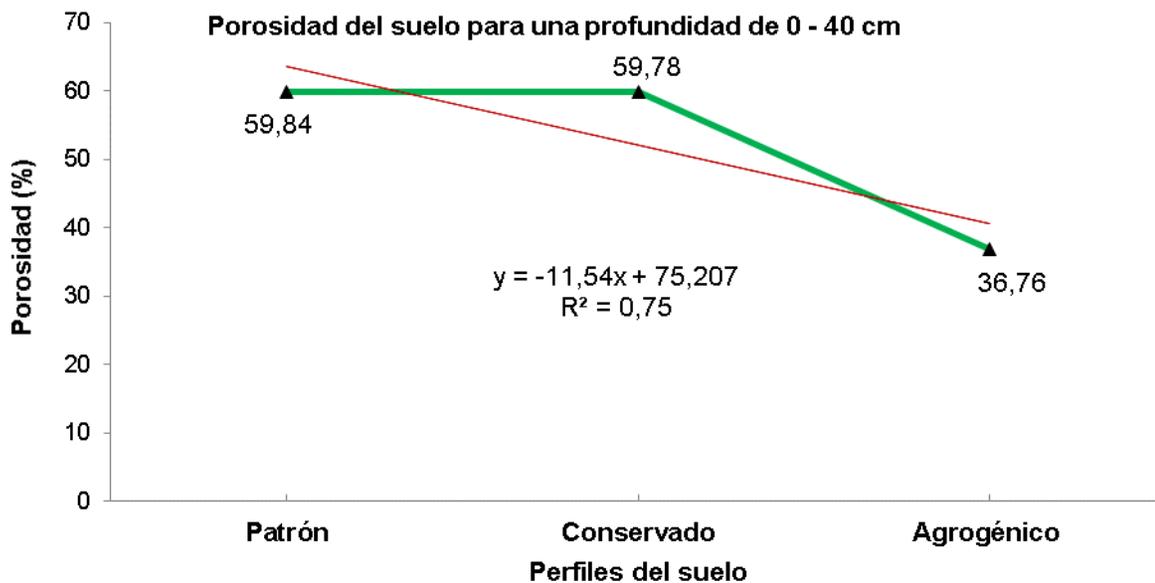


**Figura 1. Densidades promedio del suelo para una profundidad de 0 - 40 cm.**

Por su parte en la figura 2, se puede observar como fue el comportamiento promedio entre la porosidad correspondiente a cada uno de los perfiles estudiados a una profundidad de 0 - 40 cm. Los resultados evidencian que para el perfil patrón y conservado los valores no son significativos, los cuales presentan valores de 59,84 y 59,78 % respectivamente, sin embargo, si hubo alto nivel de significación entre estos perfiles y el perfil agrogénico, quien solo presentó como promedio una porosidad de 36,76 %, que resulta poco poroso y por deducido y testificado con anterioridad como altamente compacto, lo que limita el desarrollo agrícola y la eficiencia del uso del agua en el suelo.

Este comportamiento del perfil cultivado con relación a la porosidad y comparado con los otros perfiles de suelos está fundamentado porque se ha perdido gran parte o la totalidad del horizonte A y con ella la materia orgánica, lo que ha traído como

consecuencia empeoramiento de las propiedades físicas y se ha afectado la porosidad producto de la baja estabilidad estructural y la alta compactación. Según González *et al.*, (2007) y Rodríguez, (2014); (Rodríguez *et al.*, 2016) conforme aumenta la compactación del suelo por el efecto de la maquinaria, se deteriora su estructura física, también se incrementa la densidad aparente, disminuye la porosidad total, se afecta negativamente el volumen potencial que puede ocupar el aire (aireación), y como significativo se impacta negativamente el proceso respiratorio normal que atesoran los medios edáficos con buenas propiedades físicas. Tal hecho, reduce en la misma proporción el estado energético de las células de las raíces en los procesos de absorción, afectándose el movimiento del agua en el suelo, los procesos de absorción del agua y nutrientes. Por lo que los rendimientos del cultivo principal en el perfil agrogénico tienden a ser deprimidos y el suelo estar considerado como un sustrato inerte que depende de lo que se aplique para que la planta se desarrolle.



**Figura 2. Porosidad promedio del suelo para una profundidad de 0 - 40 cm.**

En la figura 3, se puede apreciar una estrecha relación entre las variables densidad aparente del suelo y la porosidad, tras un análisis de regresión lineal y un coeficiente de determinación de ( $R^2 = 0,75$ ), la tendencia es que a medida que aumenta una de estas variables disminuye la otra, lo que demuestra una relación inversamente proporcional. Esto es explicado porque a mayores valores de densidades del suelo, menores espacio poroso y por deducido menor porosidad, lo que ocurre por ejemplo en el perfil agrogénico que presenta una levada compactación y menor espacio poroso.

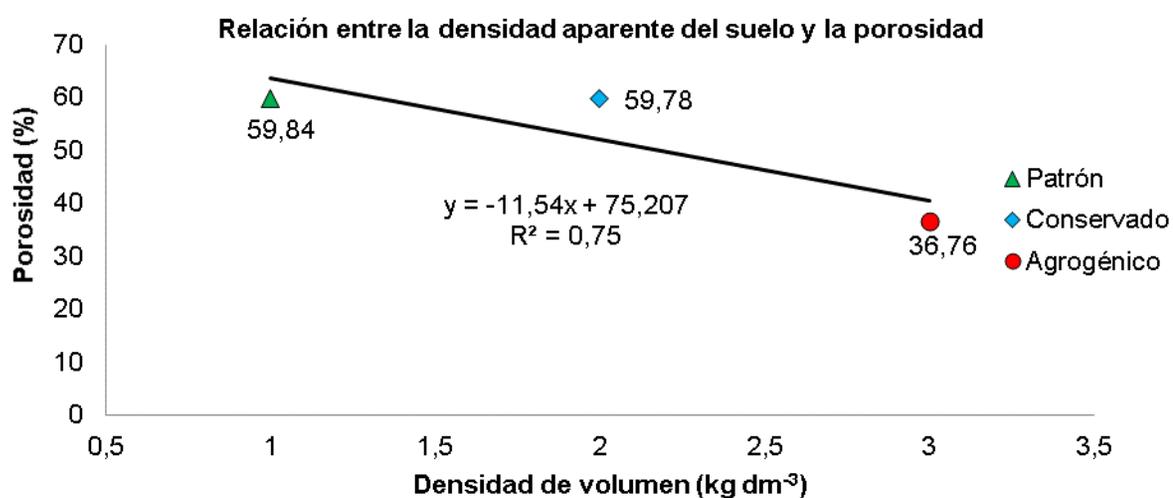


Figura 3. Relación entre la densidad aparente del suelo y la porosidad.

## **CONCLUSIONES**

1. Se pudo constatar que las propiedades físicas - morfológicas del suelo estudiado (FRL), sufren serias modificaciones en función del tipo de manejo a los que son sometidos, afectándose gradualmente la estructura, las densidades del suelo, la porosidad entre otras propiedades.
2. De los perfiles de suelos estudiados el de mayor daño en sus propiedades físicas se manifestó en el perfil agrogénico, producto del cultivo intensivo de la cebolla, bajo una agricultura de altos insumos o convencional.
3. Mediante la clasificación nacional e internacional se pudo inferir el alcance y la importancia de estas, a la hora de realizar un estudio profundo del suelo; que permite una mejor comprensión de la literatura científica especializada.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar un manejo pertinente del suelo en el área de estudio, que permita mejorar las propiedades físicas de este agrupamiento de suelo, así como mitigar los procesos degradativos que limitan la productividad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso, C. A. (2002). Datos sobre el cambio de la estabilidad de los agregados por el cultivo intensivo en suelos Ferralíticos Rojos de provincia Habana. La Habana, Cuba: ACTAF.
- Borges, Y. (2004). 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.
- Bruce, R.; Wilkinson, S. y Langdale, G. (1987). Legume effects on soil erosion and productivity.
- Buol, S.; Hole, F. y McCracken, R. (1991). Génesis y clasificación de suelos. 2da. Ed. México: Trillas.
- Cairo, P. y Fundora, O. (2005). Edafología Primera y Segunda parte. Editorial: Félix Varela. Ciudad de la Habana. 475p.
- Chi, M. (1964). Principios de la Geografía de Suelos. La Habana, Cuba: Academia de Ciencias.
- Cid, G.; López, T. y González, F. (2006). Parámetros fundamentales para la caracterización hidropedológica general de los suelos. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 15(4), 42-48.
- Cuellar, I.; de León, M.; Gómez, A.; Piñón, D.; Villegas, R. y Santana, I. (2003). Caña de azúcar paradigma de sostenibilidad. Ed. PUBLINICA. 175 pp.
- Dörner, J.; Dec, D.; Peng, X. y Horn, R. (2009). Efecto del cambio de uso en la estabilidad de la estructura y la función de los poros de un Andisol (Typic Hapludand) del sur de Chile. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 9(3), 190-209.
- Driessen, P. (2001). Lecture Notes on the Major Soils of the World. World Soil Resources Reports 94. Roma: FAO. 334p.
- García, M.; Treto, E. y Álvarez, M. (2000). Los abonos verdes: Una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa. II. Efecto de la interacción abono verde-dosis de nitrógeno. Cultivos Tropicales 21(1):13-19.

- González, A.; Rivas, S. y Castillo, A. (2007). Efecto del sobre humedecimiento en algunas propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azúcar. Granma, Cuba: Universidad de Granma (UDG).
- Guerasimova, M.; Stroganova, M.; Mozharova, N. y Prokofieva, T. (2005). Suelos Antropogénicos. Génesis, Geografía y Recultivación (en ruso). Manual de Estudio. Smolensk, Oikumena, 268p.
- Hernández, A. (2003). Función Ecológica de los Suelos: Caso de estudio en suelos Ferralíticos Rojos y Pardos de provincia Habana. En: Hernández, A. V Conferencia Internacional de Agricultura Orgánica. Palacio de las convenciones, Habana, Cuba: MINAG.
- Hernández, A. y Ascanio, M. (2000). Fundamentos de Geografía de Suelos (en el ejemplo de Cuba). Cuba: En computadora.
- Hernández, A. y Durán, J. (1983). Introducción a la Pedología Tropical (en el ejemplo de Cuba). La Habana, Cuba: Cient. Técnica.
- Hernández, A. y Morell, F. (2005). Función ecológica de los suelos y su transformación de los ecosistemas a agrosistemas: Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. Conferencia impartida en VI Encuentro Nacional de Papa. INCA, La Habana.
- Hernández, A.; Ascanio, M. y Morales, M. (2002). Cambio Globales en los Suelos. Trabajo de Diploma. México: UNAM.
- Hernández, A.; Ascanio, M.; Morales, O.; Cabrera, M. y Cabrera, A. (2005 b). Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de cuba con las clasificaciones internacionales y nacionales: una herramienta útil para la investigación, docencia y producción agropecuaria.
- Hernández, A.; Bojórquez, A.; Morell, J.; Cabrera, A.; Ascanio, M. y García, J. (2010). Fundamentos sobre la estructura del suelo. Tipos de estructura en los principales suelos tropicales y su transformación por la influencia antropogénica. 1ra Edición. Nayarit, México: Universidad Autónoma de Nayarit.
- Hernández, A.; Morales, M. y Borges, Y. (2014). Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la llanura roja de la Habana, por el

cultivo y algunos resultados de su mejoramiento. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba.

Hernández, A.; Morales, M.; Ascanio, M. y Morell, F. (2005 a). Manual Práctico para la Aplicación de la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. México: Universidad de Nayarit.

Hernández, A.; Morales, M.; Morell, F.; Borges, Y.; Bojórquez, J.; Ascanio, M.; García, J.; Ontiveros, H. y Murray, R. (2009). Changes in soil properties by agricultural activity in tropical ecosystems. Abstracts International conference "Soil Geography: New horizons". Huatulco, Mexico, p.57.

Hernández, A.; Paneque, J.; Pérez, J.; Mesa, A.; Bosch, D. y Fuentes, E. (1995). Metodología para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos. Instituto de Suelos y Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, La Habana, 53p

Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D. y Castro, N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. Publicado en formato digital, Ediciones INCA. La Habana, Cuba, 93 pp. ISBN 978-959-7023-77-7

Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D.; Rivero, L.; Camacho, E.; Ruiz, J.; Jaimez, E.; Marsán, R.; Obregón, A.; Torres, J.; González, J.; Orellana, R.; Paneque, J. y Mesa, Á. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. 1ra ed. Ciudad de La Habana: AGRINFONMinisterio de la Agricultura, 1999. p. 64. ISBN 959-246-022-1.

Hernández, M. y López, D. (2002). El tipo de labranza como agente modificador de la materia orgánica: un modelo para suelos de sabana de los llanos centrales venezolanos. Venezuela: Editado en computadora.

IUSS Working Group WRB. (2014). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

Lebedeva, I.; Tonkonogov, V. y Guerasimova, M. (2005). Anthropogenic pedogenesis and the new classification system of Russian soils. 1ra ed. Luxembourg: Eurasian Soil Sci: 38, pp. 1026-1031.

- Lorenzo, E. (2006). Obtención de semilla botánica de cebolla multiplicadora (*Allium cepa*, var. *aggregatum*, Donn). Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba: UNICA. h. 82.
- Luis, A. y Martín, J. (2003). Manual de Laboratorio. Métodos para el Análisis Físico de los Suelos. 1ra edición ed. La Habana, Cuba: Universidad Agraria de la Habana.
- Martín, N. y Durán, J. (2008). El Suelo y su Fertilidad. 1ra ed. La Habana, Cuba: UNAH. p. 189.
- Michelena, R.; Morrás, H. y Irurtia, C. (2008). Degradación física por agricultura continua de suelos franco-limosos de la provincia de Córdoba. INTA -CIRN; Instituto de Suelos. Argentina.
- Morell, F. (2006). Degradación de las propiedades agrobiológicas de los suelos FRL por la influencia antrópica y su respuesta agroproductiva al mejoramiento. Tesis de Maestría. La Habana, Cuba: INCA.
- Morell, F. (2013). 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.
- Morell, F.; Borges, Y. y Hernández, A. (2004). Influencia del cambio de uso de la tierra en algunas propiedades físicas del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. XIV Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La Habana, 9-12 de noviembre.
- New Windsor. (2000). Munsell Soil Color Chasts. Tabla Munsell. NY, USA: Gretagmacbeth,
- Oldeman, I.; Van Egelen, V. y Pulles J. (1989). The extent of human induced soil degradation. ISRIC. Wageningen. The Netherlands.
- Olivera, D. (2012 a). "Un Universo Invisible Bajo Nuestros Pies": Los Suelos de Cuba. Madrid: Los suelos y la Vida. Boletín de Noticias IDI., 19/01/12. Disponible en [www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/01/19/141129](http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/01/19/141129).
- Olivera, D. (2012 b). "Un Universo Invisible Bajo Nuestros Pies": La Degradación de los Suelos de Cuba. Madrid. Boletín de Noticias IDI., 26/03/12. Disponible en [www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/03/26/141581](http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/03/26/141581)

- Olivera, D. (2014). Protocolo de investigación de doctorado. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, La Habana, Cuba. 40 p.
- Ortiz, M.; Luz, C. y Estrada, J. (1995). Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Conaza. C.P., México, 161 p.
- Pérez, R. y Cid, G. (2008). El Riego Superficial. La Habana, Cuba: Convenio Bilateral Cuba - Venezuela. IIRD. p. 49
- Riverol, M. (2001). Degradación del suelo en las regiones tropicales: situación en Cuba. p. 131-139.
- Rodríguez, M. (2014). Tecnología para el mejoramiento del riego por surcos asociado al cultivo de la cebolla en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Tesis de Doctorado. Santa Clara, Cuba: Universidad Central Marta Abreu de la Villa (UCLV). h. 112.
- Rodríguez, M.; Olivera, D. y Viera, R. (2016). Degradación de las propiedades del suelo FRL, por la acción antrópica. Editorial Académica Española, España. Libro, 73p. ISBN 978-3-659-70237-2.
- Rucks, L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce, J. y Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. 1ra ed. Monte Video, Uruguay: Universidad de la República, Facultad de Agronomía. ISBN 985-778-36-28.
- Santana, I.; Santos, J.; Guillén, S.; Sánchez, M.; Velarde, E.; Horta, J.; Sulroca, F.; De León, M.; Benítez, L.; Zambrano, Y. y Acevedo, R. (2007). Instructivo de la Caña de Azúcar. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar Ministerio del Azúcar. Editorial Publinica. La Habana.
- Shishov, L.; Tonkonogov V.; Lebedeva, I. y Guerasimova, M. (2004). Diagnóstico y clasificación de suelos de Rusia (en ruso). Moscú: Oikumena, 341p.
- Soil Survey Staff. (2010). Claves para la Taxonomía de Suelos. Undécima Edición. Washington, DC. Natural Resources Conservation Service. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 365p.
- Targulián, V. (1990). Pedosphere. In Global Soil Change. Laxemburg, Austria: IIASA.
- Urquiza, M. (2008). Gestión y Educación Ambiental. Cuba: CITMA.
- Varallyay, G. (1990). Types of soil processes and changes. In Global Soil Change Int. Inst. for Applied System Analysis, Laxemburg, Austria, pp 41 – 62.

## ANEXOS

Anexo 1. Piso de arado en superficie producto de la compactación por las labores agrogénicas.

