

# CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS Y SUS RESERVAS DE CARBONO EN LA FINCA LA COLMENA DE LA UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS, CUBA

A. Hernández<sup>✉</sup>, Francy L. Marentes, Dania Vargas, H. Ríos y F. Padrón

**ABSTRACT.** At present, a project for establishing agroecological farms in Cuba is being carried out, with the objective to reach a sustainable soil management and, at the same time, reduce the atmospheric concentration of greenhouse gases. The main task is soil characterization and inventory of its carbon reserves in 90 farms throughout the country. This work is an example of the results in *La Colmena* farm, a teaching-research area from the faculty of Agronomy at the University of Cienfuegos, under a subhumid tropical climate. Feozems and Fluvisols were characterized, also determining their fertility status and carbon reserves.

**RESUMEN.** En estos momentos se está llevando a cabo un proyecto para la creación de fincas agroecológicas en Cuba, con el objetivo de lograr un manejo sostenible de los suelos y al mismo tiempo reducir la concentración de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Como tarea principal está la caracterización de los suelos e inventario de las reservas de carbono en ellos en 90 fincas a lo largo y ancho del país. Como ejemplo de los resultados se presenta este trabajo, realizado en la finca La Colmena, que es un área docente experimental de la facultad de Agronomía de la Universidad de Cienfuegos, bajo un clima tropical subhúmedo. Se realizó la caracterización de los suelos Pardos mullidos (Feozems) y Fluvisoles, así como la determinación del estado de la fertilidad y las reservas de carbono en ellos.

**Key words:** site factors, soil profiles, nature reserves, carbon, Cienfuegos

**Palabras clave:** características del sitio, perfil del suelo, reservas naturales, carbono, Cienfuegos

## INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento general que el clima del mundo está cambiando y que esto es debido al consumo desmesurado de los recursos naturales, entre ellos los combustibles fósiles y la deforestación de los bosques, con la tumba y quema de estos a un ritmo acelerado. Esta situación ha traído como consecuencia el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que a su vez está provocando el calentamiento global con las consecuencias negativas del cambio climático.

El último informe del *International Panel for Climate Change (IPCC, 2007)* demuestra que los problemas son aún más agudos de lo que se pensaba, con posibles consecuencias desastrosas que se están pronosticando para el 2020 (1). Teniendo en cuenta lo anterior, los países están tratando de implementar un plan de acción que conlleve a la reducción de los GEI, con el fin de contrarrestar las consecuencias del cambio climático.

Por esto hoy en día se tratan de aplicar políticas de manejo agroecológico, con el establecimiento de "fincas orgánicas" en regiones tropicales, como punto de partida para comprobar el efecto de las prácticas para la captura y el secuestro del carbono, con la finalidad de mitigar la emisión de GEI a la atmósfera (2, 3, 4). Para lograr un manejo agroecológico de cualquier finca o granja, es necesario ante todo realizar un diagnóstico del estado del carbono en los ecosistemas, siendo el suelo el primer factor a considerar para la sostenibilidad de los agrosistemas (5).

Cuba resulta un ejemplo de antropogénesis tropical, donde han incidido procesos de deforestación intensa, agricultura migratoria y agricultura intensiva o de altos insumos. Por estas razones, para nuestro país resulta de vital importancia analizar el comportamiento del carbono en los suelos y conocer la situación actual, como fundamento para establecer políticas de captura y secuestro del carbono en nuestros ecosistemas, tanto naturales como agrícolas.

Algunos resultados sobre las características de la materia orgánica y el tipo de humus en los suelos de Cuba se obtuvieron en la década de los años 80 (6, 7). En los últimos años hay otros aportes en relación con el estado del carbono en los suelos de Cuba (8, 9), siempre en términos más generales, aunque ya se comienza a trabajar en escenarios más localizados (10). No obstante, se tiene el criterio que es necesario ir incorporando nuevos resultados regionales, que ayuden a precisar esta

Dr.C. A. Hernández, Investigador Titular del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas; Ms.C. Dania Vargas, Investigadora y Dr.C. H. Ríos, Investigador Auxiliar del Departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, CP 32 700; Francy L. Marentes, Ingeniero Agrónomo, I. A. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá, Colombia; Ms.C. F. Padrón, Profesor de la Facultad de Agronomía, Universidad de Cienfuegos, Cuba.

✉ ahj@inca.edu.cu, ahjga@yahoo.com.mx

problemática para lograr vías efectivas en relación con la captura y el secuestro del carbono en los ecosistemas terrestres, que contribuyan al mismo tiempo a amortiguar los problemas del cambio climático global.

Dentro de las tareas que lleva a cabo el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) en la política de la reducción de los GEI y la atenuación del cambio climático, se ejecuta un proyecto para la creación de fincas agroecológicas en todo el territorio nacional. En este primer año se realiza una evaluación del contenido de carbono en 90 fincas y las tecnologías de producción agropecuaria que se llevan a cabo en ellas, con el fin de elaborar un diagnóstico general, que sirva de fundamento para la implementación de medidas agroecológicas, que posibiliten el secuestro del carbono y su mantenimiento en los agroecosistemas.

En este trabajo se presentan algunos resultados iniciales de la finca La Colmena, de la facultad de Agronomía de la Universidad de Cienfuegos, que consisten en:

- ❶ Caracterización de la finca y sus suelos
- ❷ Determinación del contenido del carbono en toneladas de la capa arable de dicha finca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la finca La Colmena, perteneciente a la facultad de Agronomía de la Universidad de Cienfuegos, situada a 3 km después del poblado de Caonao, en la carretera de Cienfuegos hacia Cumanayagua, en un relieve ondulado, con un clima tropical subhúmedo con 1350 mm de lluvia anual y 24,6°C de temperatura media anual.

Para el diagnóstico se hicieron recorridos a pie y se tomaron tres perfiles de suelos en dicha finca: dos por medio de calicatas y una con barrena. Los perfiles de las calicatas se muestrearon, no así el tomado con barrena. Al mismo tiempo se realizó el muestreo agroquímico de la finca, en tres parcelas elementales (área de cultivo intensivo, área de bosque y área de arroz). En total se tomaron 13 muestras de suelo: 10 muestras de los perfiles y tres muestras de las parcelas elementales.

El muestreo agroquímico y la descripción de los perfiles se realizaron según las instrucciones del Manual para la Cartografía Detallada y Evaluación Integral de los Suelos (11), y se clasificaron según la actual versión de Clasificación de los Suelos de Cuba (12), incluyendo la propuesta del horizonte esléptico para el diagnóstico del horizonte A en suelos Pardos (13). Los perfiles de suelos fueron clasificados, además, por la *World Reference Base* (14) y la norteamericana de suelos *Soil Taxonomy* (15).

Dos de los perfiles fueron muestreados y se realizó su caracterización, mediante los siguientes métodos analíticos:

- ☞ pH por potenciometría
- ☞ Composición mecánica por el método de Bouyoucos modificado, usando pirofosfato para la eliminación de los microagregados y NaOH como dispersante
- ☞ Composición de microagregados por el método de Bouyoucos, sin utilizar reactivos químicos

- ☞ Factor de dispersión por la división del porcentaje de arcilla de microagregados entre el porcentaje de arcilla del análisis mecánico multiplicado por 100
- ☞ Densidad aparente en campo por el método de los cilindros
- ☞ Cationes intercambiables por el método con  $\text{AcNH}_4$
- ☞ Materia orgánica por Walkley y Black
- ☞ Fósforo asimilable por Oniani

El cálculo de las reservas de carbono se hizo por la fórmula internacional:

$$\text{RC (t ha}^{-1}\text{)} : \%C * dS * h$$

donde: % C es el porcentaje de carbono; dS es la densidad aparente y h es la profundidad o espesor de la capa que se determine.

Para el caso específico de la capa de suelo con el porcentaje de gravas pequeñas, se utilizó la propuesta de Ponce de León (8), que consiste en:

$$\text{RC: \%C * dS * h * (1-I)}$$

donde I es el % de inclusiones expresado en fracción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Características de la finca.* La Colmena tiene un área aproximada de 4 ha, con un relieve ondulado, dentro de un sistema de terrazas modelado por el río Caonao. El material de origen en las partes altas está constituido por margas de color claro del Paleógeno, y en la parte media y baja por materiales transportados por el río (materiales aluviales).

Un área de 3,5 ha del terreno se encuentra sembrada con cultivos intensivos (tomate, frijoles, arroz) y un área pequeña de 0,5 ha con bosque de 13 años con árboles microfilicos de *Leucaena* y *Albicia procida*. En la Figura 1 se muestra el relieve de la finca.

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

● No. perfil: P-1

Fecha: 16-1-07

Autores: A. Hernández, F. L. Marentes, D. Vargas, F. Padrón y V. Fernández

Diagnósticos:

Proceso de formación: Sialitización

Horizontes de diagnóstico: Hor. B síalico, Hor. A esléptico

Características de diagnóstico: con contenido variable de carbonatos

Clasificación del suelo:

**Cubana (1999):** Agrupamiento: Pardo Sialítico; Tipo: Pardo; Subtipo: Pardo esléptico; Género: Pardo esléptico, medianamente lavado, formado de marga y materiales aluviales

**Soil Taxonomy (2003):** Orden. Mollisol; Suborden: Ustoll; Grupo: Haplustoll; Subgrupo: Vertic Haplustoll

**WRB (2006):** Grupo: Feozem; Unidad: Vertic Feozem calcaric, clayic

Factores de formación

1. Forma del terreno

1.1. Posición fisiográfica del lugar: parte alta del relieve

1.2. Topografía del terreno circundante: ondulada (4-6 % de pendiente)

- 1.3. Microrrelieve: no se observan irregularidades, el terreno está arado y en parte sembrado, se observan bloques prismáticos semidescompuestos de 7-10 cm en la superficie del terreno
2. Pendiente donde se tomó el perfil: 2 %
3. Vegetación o uso de la tierra: sembrado de tomate
4. Clima: Precipitaciones: 1350 mm anual Temperatura media anual: 24,6°C
5. Material de origen: margas y material transportado no carbonatado
6. Edad: suelo joven
7. Drenaje: superficial bueno; Interno: regular

### Descripción del perfil P-1

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A <sub>11</sub>	0-12	Color 10YR3/2 pardo grisáceo muy oscuro, textura arcillosa, con estructura de bloques prismáticos de 7-10 cm, compactado y algo plástico, ligeramente húmedo, poco poroso, con poros finos y medios, con pocas raíces medias superficiales, con gravas de cuarzo pequeñas, no reacciona al HCl, transición gradual
A <sub>12</sub>	12-25	Color 10YR3/1 gris muy oscuro, textura arcillosa, estructura de bloques subangulares a poliédricos, compactado y más plástico, pocos poros finos y escasos poros medios, más húmedo, con mayor cantidad de gravas de pequeño tamaño, con cuarzo, no reacciona la HCl, transición notable
B <sub>11gr</sub>	25-37	Color 10YR5/6 pardo amarillento, con manchas 10YR3/2 pardo grisáceas muy oscuras, como resultado de traslado de material de suelo del horizonte superior o acción de las lombrices, textura arcillosa, estructura de poliédrica a bloques subangulares más finos, con lombrices, con un poco de cutanes en los canales de las lombrices y en las caras de los agregados, menos compactado y más húmedo, más poroso, con mayor cantidad de gravas de pequeño tamaño y color oscuro, no reacciona la HCl, transición gradual
B <sub>12ca</sub>	37-50	Color 10YR5/4 pardo amarillento, con manchas 10YR7/2 gris claro, de carbonato de calcio, textura arcillosa, estructura poliédrica, ligeramente compactado a friable, con pequeños cutanes, medianamente húmedo, poroso con muchos poros grandes, con lombrices, con reacción al HCl, transición notable
Cca	50-75	Marga de color 10YR7/2 gris claro, textura franco arcillosa, estructura de bloques angulares a terronosa, poco estables, con muchos poros medios, friable, ligeramente húmedo, reacción fuerte al HCl

### Observaciones

El perfil es del tipo ABC, con horizonte B principal siálico, por lo que los suelos son del agrupamiento Pardo Siálico, tipo genético Pardo. La humedad en el suelo es el resultado de la aplicación del riego hace dos días.

Es notable la presencia de lombrices en los horizontes B<sub>11</sub>, B<sub>12</sub> y no en el horizonte húmico acumulativo (horizonte A), así como la manifestación de bloques prismáticos en el horizonte A, al parecer resultado del laboreo intensivo a que están sometidos los suelos.

El horizonte B que se forma en este suelo es debido a deposiciones muy rápidas que ocurrieron por influencia del río. Estas deposiciones fueron rápidas que dieron como resultado un sedimento arenoso grueso con gravas de pequeño tamaño, de rocas ígneas ricas en anfíboles, piroxenos, feldspatos y cuarzo, minerales (excepto el cuarzo), que durante el proceso de formación del suelo liberan hierro y sus productos de descomposición forman arcilla. Además, la presencia de estas gravas de pequeño tamaño dan cierta porosidad al suelo, de forma tal que exista un lavado más fuerte que cuando el suelo se forma solamente de la marga.

Cuando el suelo se forma de la marga, el proceso de formación que ocurre es de humificación, con la formación de un horizonte A humificado profundo, de color gris oscuro a negro, bien estructurado y el perfil entonces es del tipo A-AC-C, clasificándose en ese caso el suelo como Húmico Calcimórfico; pero aquí la presencia de las gravas pequeñas dan posibilidad de una mayor infiltración, por tanto de lavado del suelo, formándose un horizonte B siálico, típico de los suelos Pardos.

● No. perfil: P-2

Fecha: 16-1-07

Autores: A. Hernández, F. L. Marentes, D. Vargas, F. Padrón y V. Fernández

Diagnósticos:

Proceso de formación: Sialitización

Horizontes de diagnóstico: Hor. B siálico, Hor. A mullido

Características de diagnóstico: con contenido variable de carbonatos

Clasificación:

**Cubana (1999):** Agrupamiento: Pardo Siálico Tipo: Pardo; Subtipo: Pardo mullido; Género: Pardo mullido medianamente lavado, formado de marga y materiales transportados

**Soil Taxonomy (2003):** Orden Mollisol; Suborden: Ustoll; Grupo: Haplustoll; Subgrupo: Typic Haplustoll

**WRB (2006):** Grupo: Feozem; Unidad: Haplic Feozem calcaric, clayic

Factores de formación

1. Forma del terreno

7.1. Posición fisiográfica del lugar: en la parte de pendiente

7.2. Topografía del terreno circundante: ondulada (4-6 % de pendiente)

7.3. Microrrelieve: no se observa, en superficie hay capa de hojas microfílicas con restos de arbustos y ramas de los árboles

8. Pendiente donde se tomó el perfil: 8 %

9. Vegetación o uso de la tierra: bosque de *Leucaena* y *Albicia*

10. Clima: precipitaciones: 1350 mm; Temperatura media: 24,6°C

11. Material de origen: margas y material transportado no carbonatado

12. Edad: suelo joven  
13. Drenaje: superficial bueno; Interno: bueno

### Descripción del perfil P-2

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A <sub>11</sub>	0-9	Color 7,5YR3/1 gris muy oscuro, textura arcillosa, estructura de bloques subangulares que se desmenuzan en nuciforme granular, compactado algo plástico, fresco, con muchos poros gruesos y medios, con gravas de pequeño tamaño, de cuarzo y rocas ígneas, raíces medias, sin reacción al HCl, transición gradual
A <sub>12</sub>	9-22	Color 10YR2/2 pardo muy oscuro, textura arcillosa, estructura de bloques subangulares de 5 cm que se desmenuzan en nuciforme, con gravas de pequeño tamaño, de rocas ígneas, menos compactado, más plástico, más húmedo, con buena porosidad, con raíces medias y gruesas, sin reacción al HCl, transición notable
B <sub>1gr</sub>	22-41	Color 7,5YR4/4 pardo, textura franco arcillosa, no se aprecia la estructura, compactado, medianamente húmedo, con muchos poros finos, 30 % de gravas de pequeño tamaño, de rocas ígneas, con raíces medias, sin reacción al HCl, transición gradual
B <sub>12ca</sub>	41-56	Color 7,5YR5/6 pardo fuerte, son algunas manchas de color 10YR7/3 pardo muy pálido, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares pequeños (3-5 cm), muchos poros finos, ligeramente compactado, medianamente húmedo, con raíces medias y gruesas, reacciona al HCl, transición notable
Cca	56-75	Marga de color 10YR7/4 pardo muy pálido, con manchas de color 2,5Y8/1 blanco, textura franca, estructura de bloques angulares y subangulares finos (5-7 cm), friable a ligeramente compactado, menos húmedo, medianamente poroso, sin raíces, reacción fuerte al HCl

### Observaciones

Este no es un bosque primario, es un bosque con una edad de 13 años, que se implantó en un área donde el suelo se cultivaba, en una pendiente de 8 %.

Se observaron insectos y ciempiés en la parte superior del perfil y dentro de la hojarasca de la superficie. El perfil del suelo también es del tipo ABC, del agrupamiento de suelos Pardos Sialíticos, tipo genético Pardo.

● No. perfil: P-3

Fecha: 16-1-07

Autor: A. Hernández

Diagnósticos:

Proceso de formación: proceso aluvial y proceso de gleyzación

Horizontes de diagnóstico: Horizonte A esléctico

Características de diagnóstico: propiedades gléyicas, sin carbonatos, propiedades vérticas

Clasificación:

**Cubana (1999):** Agrupamiento: Fluvisol; Tipo: Fluvisol; Subtipo: Fluvisol gléyico y vértico; Género: Fluvisol gléyico y vértico sin carbonatos, formado de materiales aluviales

**Soil Taxonomy (2003):** Orden: Entisol; Suborden: Aquent; Grupo: Fluvaquent; Subgrupo: Vertic Fluvaquent

**WRB (2006):** Grupo: Fluvisol; Unidad: Gleyic Fluvisol eutric, clayic, arenic

Factores de formación:

1. Forma del terreno
- 13.1. Posición fisiográfica del lugar: en la parte depresional
- 13.2. Topografía del terreno circundante: ondulada (4-6 % de pendiente)
- 13.3. Microrrelieve: tomado en terrazas de arroz, con microrrelieve en forma de pequeños montículos y hondonadas, como resultado de la acción de los animales en terrenos húmedos
14. Pendiente donde se tomó el perfil: menor de 1 %
15. Vegetación o uso de la tierra: terrazas de arroz
16. Clima: precipitaciones: 1350 mm anual Temperatura media anual: 24,6°C
17. Material de origen: materiales aluviales
18. Edad: suelo joven
19. Drenaje: superficial malo; Interno: malo

### Descripción del perfil P-3

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A <sub>11g</sub>	0-15	Color 10YR3/1 gris muy oscuro, textura arcillosa, estructura de bloques prismáticos de 10-15 cm, con manchas de color 7,5YR5/8 pardo rojizas, sobre todo en la base de los bloques, muy compacto, con muchas gravitas pequeñas de color claro, fresco, poco poroso, casi sin raíces, sin reacción al HCl, transición algo notable
A <sub>12g</sub>	15-25	Color 10YR3/2 pardo grisáceo muy oscuro, con manchas de color 7,5YR5/8 pardo rojizas, textura arcillosa, estructura de bloques prismáticos más pequeños (7 cm), compactado, poco poroso, un poco más húmedo, sin raíces, sin reacción al HCl, transición notable
AC <sub>1(g)</sub>	25-45	Color 10YR4/3, con más de 50 % de gravas pequeñas de color 10YR8/2 pardo muy pálido y 10YR6/8 amarillo pardusco, textura franca, estructura de bloques angulares finos poco estables, compactado, poroso, húmedo, sin reacción al HCl, transición gradual
C <sub>1(g)</sub>	45-65	Color 10YR4/3 pardo, con 30 % de gravas pequeñas de igual color que en el anterior, textura franca, estructura de bloques subangulares pequeños, ligeramente compactado, poroso, más húmedo, sin reacción al HCl, transición notable
IIC <sub>2</sub>	65-90	Color 10YR6/4 pardo amarillento claro, textura arenosa, debido a gravas pequeñas y gruesas, sin estructura, friable, poroso, muy húmedo y sin reacción al HCl

## Observaciones

Este suelo en las partes depresionales presenta ya propiedades de degradación por influencia del cultivo del arroz; en primer lugar, destaca la estructura prismática con bloques de 15 cm muy compactos y poco porosos, además de la gleyzación superficial por el aniego provocado durante 10 años por el cultivo del arroz. De seguirse trabajando en esta línea, se llegará a formar un suelo transformado por el hombre que debe clasificarse como Antrosol. Es posible que en época de lluvia se presente un manto freático por debajo de un metro de profundidad. *Características morfológicas de los suelos.* Por las descripciones de los perfiles se puede observar que los perfiles 1 y 2 son del tipo A-B<sub>11</sub>gr-B<sub>12</sub>ca-Cca, de color oscuro en la superficie (horizonte A) y pardo en el horizonte B. Ambos perfiles resultan medianamente lavados, pues tienen carbonato de calcio en el horizonte B<sub>12</sub>.

La textura del suelo Pardo es arcillo-arenosa, debido a la influencia de los materiales originarios, marga y materiales transportados de carácter aluvial, más antiguo que en las terrazas actuales donde se ubica el Fluvisol. Es notable la estructura del horizonte A del perfil 2, que se desmenuza en nuciforme granular, muy buena, al igual que la porosidad alta. Esto diferencia a este perfil del anterior, donde la estructura es de bloques prismáticos en superficie y no hay una porosidad adecuada. Por la nueva versión de Clasificación de Suelos de Cuba, estos perfiles 1 y 2 son del tipo Pardo, con dos subtipos, Pardo esléptico el perfil P-1 y Pardo mullido el perfil P-2. Esta diferencia está dada por la estructura del horizonte A en estos suelos, que es de bloques prismáticos, pero sin caras de deslizamiento en el perfil P-1, mientras que en el P-2 es nuciforme granular. Esta diferencia en la estructura del suelo está dada principalmente por el uso.

Por estos datos de la morfología del perfil se puede estimar que la acción del bosque sobre el suelo representado por el perfil 2 ha sido muy beneficiosa, provocan-

do la formación de una estructura muy buena, también la porosidad y posiblemente un aumento en el contenido en materia orgánica. Por el contrario, en el suelo cultivado (perfil P-1), hay destrucción de microagregados, mayor dispersión de la arcilla, la cual rellena los poros de los agregados. Posteriormente, por el efecto de los cambios bruscos de dilatación y compactación de la parte superior del suelo, expuesta a la humedad de las lluvias y desecación en época de seca, se forman los bloques prismáticos que aparecen en la superficie del suelo.

Esta comparación nos demuestra que es necesario establecer un manejo agroecológico en la finca, con aplicación de materia orgánica en las áreas bajo cultivo, que mantenga la bondad de las propiedades iniciales de los suelos, que se degradan por el cultivo intensivo en combinación con los agentes climáticos.

Otra situación tenemos en la parte baja del relieve, donde se presenta el suelo representado por el perfil P-3. Este es del tipo Ag-ACg-Cg-IIC, formado de dos sedimentos diferenciados texturalmente. El espesor superior no tiene horizonte B y presenta manchas de gleyzación, provocado por la influencia del aniego en el cultivo del arroz, mientras que el espesor inferior es de textura arenosa, sin carbonato de calcio. Estas son deposiciones del río encima de la marga, que seguramente se encuentra a una profundidad de 2-3 m. Por la diferenciación textural de las sedimentaciones aluviales, este suelo se clasifica como Fluvisol (antiguamente se clasificaba como Aluvial), correspondiendo al subtipo Fluvisol gléyico, por la presencia de las manchas del gley. La estructura del horizonte superior es de bloques, también influenciado por el cultivo del arroz, mientras que en el horizonte IIC no hay una estructura definida, sino de grano simple.

En general, se puede establecer una distribución de los suelos, ya sea por influencia del relieve, el material de origen y además por el cultivo del arroz, como se muestra en la Figura 1.

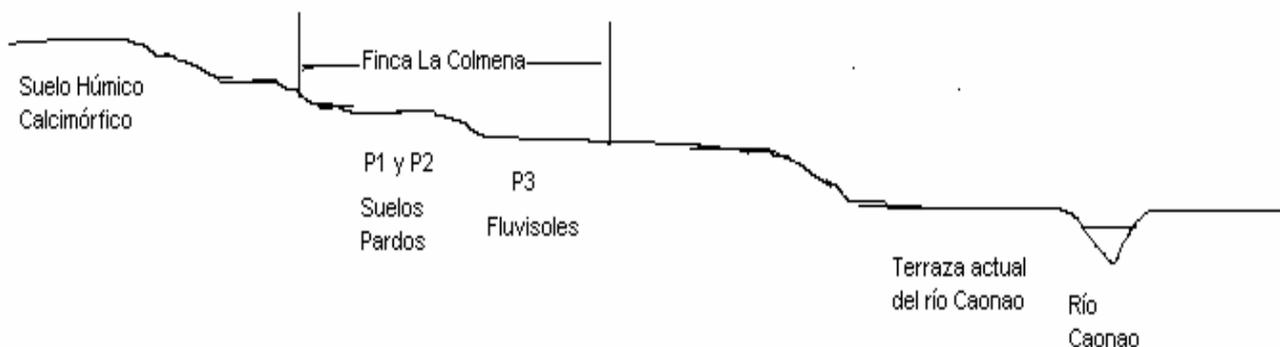


Figura 1. Esquema del relieve y la distribución de suelos en el área de estudio

Los suelos de la parte alta y media resultan Pardos mullidos y Pardos esléficos (Feozems), formados del eluvio de la marga y de materiales aluviales que transportaron gravas de pequeño tamaño, de rocas ígneas y en la parte depresional son Fluvisoles gléyicos y vérticos, formados de materiales aluviales diferenciados texturalmente, en transición a Antrosoles, pues están siendo modificados fuertemente por el cultivo del arroz. Más abajo, hacia la terraza cercana al río, es posible encontrar Fluvisoles más arenosos o Gleysoles y, en la parte más alta, donde los suelos no tengan la influencia de los sedimentos aluviales están los suelos Húmico Calcimórficos, formados del eluvio de la marga sin influencia aluvial, de perfil AC, sin horizonte B, como se puede observar en la cárcava que existe al lado de la presa.

**Composición mecánica de los suelos Pardos.** La mayor parte de la finca está ocupada por el tipo genético de suelos Pardos, con los subtipos Pardo esléfico y Pardo mullido. La composición mecánica de los perfiles estudiados de estos suelos (Tabla I) evidencia su carácter arcillo-arenoso en los horizontes A y B, que cambia a franco arcillo-arenoso en el horizonte C, de la marga subyacente.

El espesor superior, de textura arcillo-arenosa, con minerales arcillosos predominantes del tipo 2:1, propio

en estos suelos, propicia su erosión por el relieve ondulado en que se encuentran. Este fenómeno fue descrito en Cuba (16) y demuestra que estos suelos son muy susceptibles a la erosión, por lo que cuando se ponen bajo cultivo pierden parte de su fertilidad, no solamente por el cultivo, sino además por los nutrientes que se pierden con las partículas que se erosionan.

**Características físico-químicas y de fertilidad de los suelos.** Las características físico-químicas de los suelos Pardos se muestran en la Tabla II. Por estos resultados se aprecia que los dos perfiles estudiados son de pH alcalino, siendo más alto en profundidad por la presencia de los carbonatos. Al mismo tiempo, tienen una suma de bases cambiables relativamente alta, sobre todo en la parte inferior del perfil, por el predominio de los cationes de calcio y magnesio. El sodio intercambiable resulta bajo, un poco más alto en el horizonte Cca del perfil P-2, debido posiblemente a que el material de origen es de marga, de carácter evaporítico, que sedimentaron sodio cambiable durante su formación. El contenido de materia orgánica es de medio a bajo, siendo más bajo en el perfil P-1, bajo cultivo, mientras que en el P-2 es un poco más alto, casi llega a 3 % de MO, debido a la acción de la arboleda que lleva 13 años de sembrada en esta área.

**Tabla I. Composición mecánica en los perfiles P-1 y P-2 de suelos Pardos**

Horizonte.	Profundidad (cm)	Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo grueso (%)	Limo fino (%)	Arcilla (%)	Textura
Perfil P-1							
A <sub>11</sub>	0-12	52,7	2,3	4,3	3,9	36,8	Arcillo arenosa
A <sub>12</sub>	12-25	50,7	2,7	4,2	5,8	36,6	Arcillo arenosa
B <sub>11gr</sub>	25-37	58,7	2,2	2,1	1,8	35,2	Arcillo arenosa
B <sub>12ca</sub>	37-50	56,9	2,0	1,9	7,4	31,8	Franco arcillo arenosa
Cca	50-75	47,9	2,1	10,2	12,0	27,8	Franco arcillo arenosa
Perfil P-2							
A <sub>11</sub>	0- 9	54,9	2,6	4,3	2,0	36,2	Arcillo arenosa
A <sub>12</sub>	9-22	50,7	2,4	6,1	3,9	36,9	Arcillo arenosa
B <sub>11gr</sub>	22-41	55,7	2,1	2,2	4,0	36,0	Arcillo arenosa
B <sub>12ca</sub>	41-56	52,9	4,0	3,8	3,8	35,5	Arcillo arenosa
Cca	56-75	49,9	7,0	8,6	6,1	28,4	Franco arcillo arenosa

**Tabla II. Algunas propiedades físico-químicas y de fertilidad de los perfiles P-1 y P-2**

Horizonte	Profundidad (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	MO (%)	P asimilable (ppm)	Ca	Mg	K cmol(+)/kg <sup>-1</sup>	Na	Suma	SST (ppm)
Perfil P-1										
A <sub>11</sub>	0-12	8,0	1,79	295	28,6	5,8	0,31	0,17	34,9	386
A <sub>12</sub>	12-25	8,2	1,31	278	29,9	5,7	0,32	0,26	36,2	371
B <sub>11gr</sub>	25-37	8,0	1,59	34	28,5	4,9	0,53	0,23	34,2	340
B <sub>12ca</sub>	37-50	8,6	1,38	75	36,5	8,5	0,28	0,30	45,6	294
Cca	50-75	8,8	1,10	50	37,5	7,0	0,31	0,23	45,0	324
Perfil P-2										
A <sub>11</sub>	0- 9	7,6	2,95	107	33,0	5,5	0,27	0,10	38,9	417
A <sub>12</sub>	9-22	7,7	1,21	22	26,0	7,5	0,17	0,23	33,9	216
B <sub>11gr</sub>	22-41	7,6	1,00	86	26,5	10,0	0,35	0,21	37,1	198
B <sub>12ca</sub>	41-56	7,9	1,78	12	32,0	9,0	0,28	0,43	41,7	433
Cca	56-75	8,3	1,00	6	37,0	8,0	0,53	0,82	46,4	1114

La fertilidad del suelo se determinó por el muestreo agroquímico, en toda el área de la finca. Estos resultados se muestran en la Tabla III. Así, en el caso del suelo esfítico, el contenido en materia orgánica es casi la mitad que en el mullido actualmente bajo arboleda de 13 años, mientras que para el caso del suelo con siembras de arroz (Fluvisol gléyico), es aún más bajo.

**Reservas de carbono en los suelos.** En la Tabla IV se presentan los datos de la reserva de carbono en los dos perfiles de suelo Pardo analizados (perfiles P-1 y P-2). Por estos resultados, se observa un contenido mayor en el suelo bajo la arboleda, tanto en el porcentaje como en las reservas en  $t\cdot ha^{-1}$ . Para la capa de 0-20 cm se observa una diferencia de  $6,1 t\cdot ha^{-1}$  de reservas de carbono, mientras que para el espesor de 0-75 cm es de  $5,5 t\cdot ha^{-1}$ . Estas diferencias resultan importantes, ya que son indicadores del ciclo biológico de las sustancias en las condiciones edafoclimáticas actuales, bajo diferentes formas de manejo.

En primer lugar, al comparar el enriquecimiento en carbono en el espesor superior, para la capa de 0-20 cm, entre ambos perfiles, se tiene que la diferencia de  $6,1 t\cdot ha^{-1}$  en un período de 13 años da una diferencia de  $0,47 t\cdot ha^{-1}$  anual, entre ambos manejos del suelo.

Este indicador, por supuesto, resulta muy importante para deducir una medida posible en la región en una política encaminada a la creación de sumideros de carbono, mediante el establecimiento de estas arboledas y, de esta forma, provocar el secuestro del carbono a la atmósfera. Así, por ejemplo, si se establecen 1 000 ha de esta arboleda en diferentes sitios de esta región, sería un enriquecimiento en la parte superior del suelo de tonela-

das de carbono anualmente. Esto es un ejemplo de la importancia que tiene el establecer el diagnóstico del estado del carbono en diferentes regiones del país (si es posible con patrones establecidos que sirvan para estas comparaciones), con vistas a la política futura del secuestro del carbono en nuestro país, con el objetivo de mitigar los impactos del cambio climático que se está produciendo a nivel mundial.

Otro elemento importante es el análisis de la diferencia en el aumento que existe entre las reservas de carbono en la capa de 0-20 cm ( $6,1 t\cdot ha^{-1}$ ) y la capa de 0-75 cm ( $5,5 t\cdot ha^{-1}$ ), entre ambos perfiles, para estas condiciones edafoclimáticas. Esta diferencia es solamente de  $0,6 t\cdot ha^{-1}$ , lo que indica que en el tiempo de establecida la arboleda, el enriquecimiento en carbono en el suelo ocurre en un gran porcentaje (81,3 %) en los primeros 20 cm del espesor superior del suelo, por influencia principalmente de la hojarasca. Se supone que cuando esta arboleda tenga 10-15 años más, este enriquecimiento alcanzará mayor influencia en profundidad, por las raíces más profundas de los árboles y la acción de la meso y microfauna del suelo.

Otros resultados fueron en el estudio agroquímico de las parcelas diferenciadas por el uso agrícola, tanto por los cultivos varios (75 % del área), la arboleda (18 % del área), como por el arroz (7 % del área). Los datos del contenido de carbono y sus reservas para estas parcelas se muestran en la Tabla V. Extrapolando las reservas obtenidas para la capa de 0-20 cm de todo el territorio de la finca (4 ha), actualmente se tienen 121,6 toneladas de carbono retenidas en la capa de 0-20 cm en dicha finca (Tabla V).

**Tabla III. Fertilidad del espesor superior del terreno de la finca**

Suelo	MO (%)	P asimilable (mg/100 g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> asimilable (mg/100 g)	K asimilable (mg/100 g)	K <sub>2</sub> O asimilable (mg/100 g)	pH (H <sub>2</sub> O)
1	1,87	23,7	54,3	17,9	21,5	8,1
2	3,12	11,8	27,0	11,3	13,6	8,0
3	1,04	40,0	91,6	16,4	19,7	7,9

Suelo 1. Pardo esfítico

Suelo 2. Pardo mullido

Suelo 3. Fluvisol gléyico

**Tabla IV. Reservas de carbono ( $t\cdot ha^{-1}$ ) en los suelos**

Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	MO (%)	C (%)	D ap. (mg/m <sup>3</sup> )	Reserva C ( $t\cdot ha^{-1}$ )	Reservas C ( $t\cdot ha^{-1}$ )		
							0-20	0-50	0-75
P <sub>1</sub>	A <sub>11</sub>	0-12	1,79	1,03	1,32	16,4	18,9	46,3	64,7
	A <sub>12</sub>	12-25	1,31	0,76	1,28	12,6			
	B <sub>1</sub>	25-37	1,59	0,92	1,22	13,5			
	B <sub>2</sub>	37-50	1,38	0,80	1,20	12,5			
	Cca	50-75	1,10	0,64	1,15	18,4			
P <sub>2</sub>	A <sub>11</sub>	0-9	2,95	1,71	1,15	17,7	25,0	49,1	70,2
	A <sub>12</sub>	9-22	1,21	0,70	1,18	10,7			
	B <sub>1</sub>	22-41	1,00	0,58	1,35	14,9			
	B <sub>2</sub>	41-56	1,78	1,03	1,32	20,4			
	Cca	56-75	1,00	0,58	1,17	12,9			

**Tabla V. Cantidad de carbono (toneladas) retenido en la capa de 0-20 cm en la finca**

Uso agrícola	Horizonte	Profundidad (cm)	MO (%)	C (%)	Densidad aparente (mg/m <sup>3</sup> )	Área (ha)	Reservas de C (toneladas)
CV	A	0-20	1,87	1,08	1,32	3,00	85,5
F	A	0-20	3,12	1,81	1,15	0,72	30,0
A	A	0-20	1,04	0,80	1,37	0,28	6,1
<b>Total</b>							<b>121,6</b>

CV: Cultivos varios

F: Forestal

A: Arroz

Si se desea aumentar este reservorio, entonces con incrementar el área de la arboleda se podría hacer un estimado para el contenido de carbono que se tendría en el área estudiada, en el tiempo, para la capa de 0-20 cm. De la misma forma, se pueden establecer cálculos para las capas de 0-50 y 0-75 cm.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- \* En las condiciones edafoclimáticas de la finca La Colmena, situada al este de la ciudad de Cienfuegos, por la carretera de Cumanayagua, hay una reserva de 121,6 t de carbono en la capa de 0-20 cm.
- \* Mediante el establecimiento de una arboleda de *Leucaena* y *Albicia*, se pudo obtener un incremento de 6,1 t.ha<sup>-1</sup> de carbono en la capa superior del suelo (0-20 cm), pero con manejos diferentes, después de 13 años de establecida la arboleda.
- \* Se recomienda utilizar estos resultados para el establecimiento de medidas de manejo agroecológicas, con vistas a una política futura de captura y secuestro de carbono a la atmósfera, que resulte beneficiosa en la reducción de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## REFERENCIAS

1. Leahy, S. Desagradable verano eterno. Publicado en el Periódico Granma, 30 de enero de 2007, p. 5. 2007.
2. Amador, M. Agricultura Orgánica, emisión de gases efecto invernadero y fijación de carbono. *Revista Aportes*, 2006, no. 132, p. 3-5.
3. Castro, J. CEDECO crea nueva propuesta que evalúa emisión de gases de efecto invernadero y fijación de carbono en fincas orgánicas de Costa Rica. *Revista Aportes*, 2006, no. 132, p. 29-31.
4. Castro, J. Gases de efecto invernadero y la fijación de carbono en fincas orgánicas en Costa Rica. Resultados preliminares. *Revista Aportes*, 2006, no. 132, p. 32-36.
5. Mata, R. El suelo es el primer factor para la sostenibilidad de los Agroecosistemas. *Revista Aportes*, 2006, no. 132, p. 13-17.
6. Ortega, F. La materia orgánica de los suelos y el humus de los suelos de Cuba. La Habana : Editorial Academia, 1982, 129 p.
7. Garcés, N. Características actuales del humus en los principales tipos de suelos de Cuba. [Tesis de doctorado]; UNAH, 1987.
8. Ponce de León, D. Las reservas de carbono orgánico de los suelos minerales de Cuba. Aporte metodológico al cálculo y generalización espacial. [Tesis de doctorado]; UNAH, 2006. 99 p.
9. Morales, M.; Hernández, A. y Vantour, A. Reservas de carbono en los suelos de diferentes ecosistemas de Cuba. En: Congreso Científico INCA (15:2006:La Habana).
10. Hernández, A.; Morales, M.; Morell, F.; Borges, Y. y Moreno, I. Algunos resultados sobre las pérdidas de carbono en ecosistemas, con suelos Ferralíticos Rojos lixiviados, en clima tropical subhúmedo, de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 3, p. 55-60.
11. Hernández, A.; Paneque, J.; Pérez, J. M. y Mesa, A. Metodología para la cartografía detallada y evaluación general de los suelos. Instituto de Suelos, 1995. 45 p.
12. Cuba. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. La Habana : AGRINFOR, 1999. 64 p.
13. Morales, M.; Hernández, A.; Vantour, A. y Garea, E. Propuesta de nuevo horizonte de diagnóstico de los suelos Pardos (Cambisoles) de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no. 3, p. 27-30.
14. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2006. Rome : FAO, 2006, 128 p. World Soil Resources Reports; 13.
15. Soil Survey Staff. Keys for Soil Taxonomy. USDA. 2003. 332 p.
16. Hernández, A. Los suelos Pardos del clima tropical de humedad alternante de Cuba. [Tesis de doctorado]; Instituto de Suelos V. V. Dokuchaev, Moscú, 1995. 210 p.

Recibido: 24 de septiembre de 2007

Aceptado: 14 de julio de 2008