

***INFLUENCIA DE DIFERENTES USOS DEL SUELO DE LA GRANJA
BARCELONA EN LA VARIABILIDAD EN LOS STOCKS DE CARBONO Y
ALGUNAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO***

ADOLFO JOSÉ CHACÓN GIL

***UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONÓMICA
VILLAVICENCIO – META
2021***

**INFLUENCIA DE DIFERENTES USOS DEL SUELO DE LA GRANJA
BARCELONA EN LA VARIABILIDAD EN LOS STOCKS DE CARBONO Y
ALGUNAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO**

ADOLFO JOSÉ CHACÓN GIL

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARA
OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

DIRECTOR

**Amanda Silva Parra
Ingeniera Agrónoma, PhD en Agronomía**

CODIRECTOR

**Sergio David Parra
Ingeniero Agrónomo, MSc Suelos**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONÓMICA
VILLAVICENCIO – META
2021**

NOTA DE ACEPTACION

APROBADO

Ing. Dayra Yisel García Ramirez
FIRMA DE JURADO

Ing. Jorge Alberto Rangel Mendoza
FIRMA DE JURADO

DEDICATORIA

Primeramente A Dios nuestro creador

A mi Padre, por su amor, paciencia y su incondicional apoyo

A mi Madre, por su inquebrantable Fe y amor

A las personas que de alguna u otra manera han hecho e hicieron parte de este proceso educativo.

Adolfo José Chacón Gil
111003208

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por llenarme con la sabiduría y la paciencia suficiente para la realización de este trabajo de grado.

A la profesora Amanda Silva por su incondicional apoyo en esta investigación, por su sabiduría para enseñar, su inmensa paciencia y su nobleza que hoy resaltamos.

Al profesor Sergio Parra por su entrega y dedicación a la investigación y al ejercicio académico.

A la Universidad de Los Llanos, su grupo de profesores, auxiliares de laboratorio, estudiantes y administrativos que nos han acompañado a lo largo de nuestra carrera universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	
	ABSTRACT	
1	INTRODUCCIÓN	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	General	14
2.2	Específicos	14
3	MARCO TEÓRICO	15
3.1	Carbono Orgánico del suelo	16
3.2	Materia orgánica del suelo	16
3.3	Ciclo del C	17
3.4	Stocks de C	18
3.5	Tipo de Labranza	19
3.6	Propiedades físicas y químicas del suelo	20
4	METODOLOGIA	22
4.1	Área de estudio (Ubicación)	22
4.2	Selección de los sistemas de producción	23
4.3	Diseño Experimental	23
4.4	Muestreos y variables analizadas	23
4.5	Determinación del Stock de C del suelo	25
4.6	Análisis estadístico	26
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
5.1	Determinación de los stocks de Carbono y algunas propiedades fisicoquímicas	25
5.2	Análisis multivariado de los stocks de C del suelo y las propiedades fisicoquímicas del suelo.	32
5.2.1	Análisis de correlaciones	32
5.2.2	Análisis de componentes principales	33
5.3	Usos del suelo con mayores reservas de C asociadas a las propiedades físico-químicas del suelo, manejo.	36
5.4	CONCLUSIONES	40
5.5	BIBLIOGRAFÍA	41
	ANEXOS	46

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Sistemas de producción seleccionados, ubicados en la granja Barcelona, Universidad de los Llanos.	22
Tabla 2	Propiedades físicas	23
Tabla 3	Propiedades químicas	23
Tabla 4	Estadística descriptiva de las diferentes propiedades químicas y físicas en los suelos evaluados en la granja Barcelona	26
Tabla 5	Medidas resumen de las variables analizadas por cada uso de suelo	28
Tabla 6	Matriz de correlaciones	33
Tabla 7	Autovalores	34
Tabla 8	Correlaciones con las variables originales	35

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Participación de las variables en los 2 CPS, expresados en un plano.	36
Figura 2	Conformación de clúster por sistemas evaluados	37
Figura 3	Conformación de clúster por variables medidas	38

RESUMEN

La variabilidad en los stocks de carbono del suelo está condicionada por el impacto del uso del suelo, este es un proyecto que se realiza con la intención de conocer y determinar la cantidad de reservas de Carbono presente en tres sistemas de producción en la granja Barcelona de la Universidad de los Llanos, las cuales son medidas como Stocks de C. Estas reservas están asociadas y condicionadas por algunas propiedades físicas y químicas que están presentes en el suelo y principalmente como los diferentes sistemas de producción o usos del suelo interfieren o afectan los reservorios de C o Stocks. La materia orgánica del suelo (MOS) es importante para la estabilidad de los suelos, ayudan a la mineralización, a la fertilización del suelo y a un buen desarrollo de los cultivos, tiene una relación directa con el C presente en el suelo y ayuda o permite la formación de un nuevo horizonte en el suelo, resaltando que el COS es el principal componente de la materia orgánica del suelo. Con base en los muestreos y análisis realizados en campo, en la granja de la universidad de los Llanos, sede Barcelona y en el laboratorio de suelos, obtenemos una serie de resultados que nos permitieron realizar un estudio más detallado de tres diferentes sistemas de producción, los cuales fueron: Cítricos, guanábana y un lote de cultivos semestrales (Maíz y arroz). Los resultados de los análisis permitieron estudiar el comportamiento de estos suelos, teniendo en cuenta que dos de estos sistemas de producción son perennes (Guanábana y cítricos) y uno es semestral, en este caso maíz y arroz. Al encontrar una variación en los resultados, los análisis de laboratorio nos indican que las propiedades físico-químicas cambian según el sistema de producción y las reservas de C en estos cultivos varían según

el manejo del cultivo, guanábana presentó mayores stocks de C del suelo, el análisis multivariado permitió estimar dos componentes principales, el CP1 logró reunir la mayoría de variables analizadas, definidas principalmente por la acidez del suelo, y el CP2 por la resistencia a la penetración RP. Se lograron conformar dos grandes clúster, en el clúster 1, quedó conformado por guanábana con mayores reservas de C del suelo y en el clúster 2 cítricos y semestrales, fueron estadísticamente similares. Es importante reconocer que alternativas en la agricultura pueden ayudar a que el impacto negativo ambiental sea menor y poder identificar que sistemas de producción pueden aportar un mayor equilibrio a los diversos ciclos naturales de la tierra, principalmente el C, evitando la degradación de los suelos, aportando Materia orgánica y disminuyendo la degradación por el mal uso o malas prácticas agrícolas, aportando así a una conservación de los suelos ya que estos cumplen una función muy importante en los sistemas de producción en la agricultura, la conservación debe ser considerada como un tema de total prioridad en el sector agrícola y ambiental, este estudio logró determinar que los cultivos semestrales presentan un impacto negativo en las reservas de Carbono en el suelo.

Palabras Clave: Agricultura, Carbono, Conservación, Degradación, Reservorios, Perennes.

ABSTRACT

The variability in soil carbon stocks is conditioned by the impact on the soil land use, this is a project that is carried out with the intention of knowing and determining the amount of carbon reserves present in three systems of production at the Barcelona farm of the University of Los Llanos, which are measured or determined as Stocks of C. These reserves are associated and conditioned by some physical and chemical properties that are present in the soil and mainly as the different production systems or land uses interfere with or affect the reservoirs of C or Stocks. Soil Organic Matter (SOM) is important for soil stability, they help mineralization, soil fertilization and good crop development, it has a direct relationship with the C present in the soil and helps or allows the formation of a new horizon on the ground, highlighting that the COS is the main component of the organic matter of the soil. Based on the sampling and analysis carried out in the field, in the farm of the University of Los Llanos, Barcelona headquarters and in the soil laboratory, we obtain a series of results that allowed us to carry out a more detailed study of the three different production systems, which were: Citrus, Soursop and a batch of Semiannual crops (corn and rice). The results of the analyzes allowed to study the behavior of these soils, taking into account that two of these production systems are perennial (Soursop and Citrus) and one is semi-annual, in this case corn and rice. When finding a variation in the results, the laboratory analyzes indicate that the results change according to the production system and the C reserves in these crops vary, likewise the physicochemical properties also vary according to the type of crop, Soursop presented higher stocks of C of the soil, the multivariate analysis allowed to estimate two main components,

the CP1 managed to gather most of the variables analyzed, defined mainly by the acidity of the soil, and the CP2 by the resistance to penetration RP. Two large clusters were formed, in cluster 1, it was made up of Soursop and in cluster 2 Citrus and Semi-annual crops, and they were statistically similar. It is important to recognize that alternatives in agriculture can help reduce the negative environmental impact and be able to identify which production systems can provide a better balance to the various natural cycles of the earth, mainly C, avoiding soil degradation, providing organic matter and reducing degradation due to misuse or bad agricultural practices, thus contributing to soil conservation since they play a very important role in production systems in agriculture, conservation should be considered as a matter of total priority in the agricultural and environmental sector, this study managed to determine that the semester crops have a negative impact on the carbon reserves in the soil.

Key words: Agriculture, Carbon, Conservation, Degradation, Reservoirs, Perennial

1. INTRODUCCIÓN

En la granja Barcelona de la Universidad de los Llanos actualmente se utilizan dos tipos de usos del suelo, están los frutales perennes en sistema de monocultivo con labranza cero y/o reducida y los cultivos semestrales, en los cuales se realiza un tipo de labranza convencional, esto acelera la oxidación de la materia orgánica del suelo reduciendo de la misma manera el almacenamiento del C orgánico del suelo, asociado a esto a la degradación de algunas propiedades físico-químicas del suelo. El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica. Según Burbano (2018), los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo, son fundamentales en el Ciclo Global del Carbono ya que intervienen en la dinámica del intercambio suelo-atmosfera a través de la producción y mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS). El carbono orgánico del suelo (COS) mejora la estabilidad estructural del suelo promoviendo la formación de agregados que, junto con la porosidad, aseguran suficiente aireación e infiltración de agua promoviendo así el crecimiento de las plantas (FAO, 2017). El secuestro del Carbono Orgánico del Suelo es el proceso mediante el cual el carbono se fija desde la atmosfera a través de plantas o residuos orgánicos y se almacena en el suelo (FAO, 2017). El suelo puede actuar como reservorio de Carbono dependiendo de los usos que se estén dando sobre estos suelos (Lal et al., 1990; Lal, 1997). Burbano (2018) mencionan que existen practicas agronómicas que favorecen la captura de C en el suelo y mitigación al cambio climático global, entre estas podemos encontrar la labranza de conservación (Lal, 1997), que incluyen la labranza mínima o labranza cero, este

sistema de labranzas permite a los suelos un mayor secuestro de carbono en el suelo (Rasmussen y Parton, 1994).

Según la FAO (2002), se puede suponer que en el futuro, gran parte de la demanda de alimentos tendrá que ser producida en áreas frágiles y limitadas para satisfacer la demanda actual, por lo que las tierras degradadas tendrán que ser estratégicamente recuperadas para incluirlas en los sistemas de producción y conservación del medio ambiente, mediante aumentos del COS.

El carbono orgánico del suelo afecta o altera las propiedades físicas y químicas del suelo, ya que estas están vinculadas, primeramente a su calidad (Carter, 2002, Wander et al., 2002), sustentabilidad (Carter, 2002, Acevedo y Martínez, 2003) y a su capacidad productiva (Sánchez et al., 2004, Bauer & Black, 1994) esto relacionado a un buen uso de suelo y a un manejo sustentable, con base en esto el COS debe aumentar o mantenerse en el suelo.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es conocer e identificar los reservorios de carbono en tres sistemas de producción de la granja Barcelona y su variabilidad asociada a algunas propiedades fisicoquímicas del suelo en los diferentes usos del suelo.

1. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el impacto de diferentes usos del suelo de la Granja Barcelona en la variabilidad en los stocks de carbono del suelo y algunas propiedades fisicoquímicas del suelo, con la finalidad de identificar los usos del suelo que ocasionan mayor secuestro del C del suelo y mejoramiento de las propiedades físico-químicas del suelo.

2.2 Objetivos específicos

- I. Determinar los stocks de Carbono y algunas propiedades fisicoquímicas de los diferentes usos del suelo de la granja Barcelona en la Universidad de los Llanos.
- II. Realizar un análisis multivariado del impacto de los usos del suelo en los stocks de C del suelo y las propiedades físico-químicas del suelo.
- III. Identificar los usos del suelo que presentan mayor secuestro de C y mejoramiento de las propiedades físico-químicas del suelo.

2. MARCO TEORICO

El suelo cumple un papel fundamental en el ciclo biogeoquímico del carbono (C), como principal reservorio de carbono orgánico del suelo (COS) en los ecosistemas terrestres (Nair et al. 2010), el cual es un recurso que debe ser mantenido para las generaciones futuras, para garantizar la seguridad alimentaria de las naciones (FAO, 2004).

El secuestro de carbono orgánico del suelo es el proceso mediante el cual el carbono se fija desde la atmósfera a través de plantas o residuos orgánicos y se almacena en el suelo. Cuando se trata de CO₂, el secuestro de COS comprende tres etapas: 1) la extracción del CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis de las plantas; 2) la transferencia de carbono del CO₂ a la biomasa vegetal; y 3) la transferencia de carbono de la biomasa vegetal al suelo donde se almacena en forma de COS en la reserva más lábil. (FAO, 2017).

Esta reserva se caracteriza por la mayor tasa de rotación (días - pocos años), engloba los residuos vegetales recientemente incorporados y se puede descomponer fácilmente por la fauna del suelo, provocando generalmente emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por lo tanto, la vital planificación de medidas de secuestro de COS requiere mirar más allá de la captación de CO₂ atmosférico, y requiere encontrar maneras de retener C en la reserva lenta de COS. (FAO, 2017).

3.1 Carbono Orgánico del suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) es una pequeña parte del ciclo global del carbono, el cual implica el ciclo del carbono a través del suelo. Se estima que la reserva de COS almacena 1500 PgC en el primer metro del suelo, lo cual supone más carbono que el contenido en la atmósfera (aproximadamente 800 PgC) y la vegetación terrestre (500 PgC) combinados (FAO & GTIS, 2015). Este reservorio de carbono no es estático, este está en constante circulación.

La cantidad de COS almacenada en un suelo, depende del equilibrio entre la cantidad de C que entra en el suelo y la que sale del suelo como gases de respiración basados en C (FAO, 2017). El Carbono también puede aumentar o disminuir en el suelo debido a la erosión o deposición del suelo, lo que lleva a la redistribución del C del suelo a escala local (FAO, 2017). Los niveles de almacenamiento de COS son controlados gestionando la cantidad y el tipo de residuos orgánicos que entran en el suelo, es decir el aporte de carbono orgánico al sistema del suelo y minimizando las pérdidas de C del suelo (FAO & GTIS, 2015).

3.2 Materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo (MOS) es la materia presente en el suelo que proviene de los restos de un organismo que alguna vez tuvo vida, pueden ser,

plantas o animales. Está conformada por materia inerte y energía y comprende algunos elementos químicos importantes para el suelo.

La materia orgánica mejora la agregación del suelo y la estabilidad estructural que, junto con la porosidad, son importantes para la aireación del suelo y la infiltración de agua en el suelo. (FAO, 2017). Un alto contenido en MOS proporciona nutrientes a las plantas y mejora la disponibilidad de agua, lo cual mejora la fertilidad del suelo y, en definitiva, mejora la productividad de alimentos (FAO, 2017).

La descomposición de materia orgánica del suelo libera nutrientes minerales, haciendo disponible estos nutrientes y minerales para el beneficio de las plantas (Van der Wal y de Boer, 2017).

La materia orgánica se puede dividir en dos grupos, basándose en el tiempo que dura la descomposición de esta materia orgánica (tiempo de rotación) pueden clasificarse de la siguiente manera.

- **Reservas activas:** renovación en meses o pocos años
- **Reservas pasivas:** renovación en miles de años

3.3 Ciclo del Carbono

El ciclo del Carbono inicia con la fijación de CO_2 presente en la atmosfera por parte de las hojas de las plantas, mediante el proceso de fotosíntesis (Burbano, 2018).

En el proceso de fotosíntesis el CO_2 y el agua reaccionan formando así carbohidratos que a su vez liberan oxígeno que vuelve a la atmosfera. Parte de

estos carbohidratos son aprovechados por la planta para sus recursos energéticos y el CO₂ que se forma se libera a través de las hojas o las raíces y de las raíces al suelo.

Es importante mencionar que en el suelo ocurre la respiración, según Burbano (2018), esto consiste en la producción de dióxido de Carbono, este proceso es el resultado de la oxidación de la MOS realizada por los microorganismos del suelo, y la respiración de las células en las raíces de las plantas, por su parte, la tasa de producción de CO₂ indica la tasa de descomposición de la MOS esto quiere decir la cantidad de C que se pierde del sistema del suelo (Lessard et al., 2006).

El carbono del suelo está relacionado con el proceso de la descomposición de la biomasa por la acción microbiana. Una parte del C del suelo vuelve a la atmosfera debido al proceso o mineralización del CO, otra parte de este C es conducido por los procesos de erosión hacia las corrientes de los ríos y estos llegan al mar (Burbano, 2018).

3.4 Stocks de Carbono

Los contenidos de C en el suelo dependen principalmente de los factores a largo plazo que están relacionados con la formación del suelo pero estos pueden ser modificados, degradados o mejorados, dependiendo estos de los cambios en los usos y manejos del suelo (Lal, 2004).

Los datos del suelo y los datos del uso del suelo de la tierra deberían ser usados para determinar la existencia total del C en el suelo, los factores de suelo que más influyen son el uso del suelo, el tipo de labranza y los niveles de residuos.

Los stocks de Carbono comprenden todo lo que se encuentra almacenado en el suelo y los flujos de Carbono en el suelo son todos los procesos que afectan los stocks de C. Esto indica que un sistema de producción por ejemplo los cultivos agrícolas comprenden como tal un sumidero de C y los stocks de Carbono que comprenden ese suelo se verán afectados positiva o negativamente (IPCC, 2006).

3.5 Tipos de labranza

Los reservorios de carbono en el suelo se ven afectados negativa o positivamente por los diferentes tipos de labranza utilizados en la agricultura.

En algunos casos, la labranza cero puede tener un efecto desfavorable debido a un incremento en el contenido de agua y la hidromorfia con la consecuente emisión de gases de invernadero (Dao, 1998). Los diferentes efectos en relación a las características del suelo no han sido aun completamente esclarecidos (Tavarez Filho & Tessier, 1998).

La labranza convencional tiene el propósito de mejorar la porosidad de los suelos para la siembra de semillas, además de controlar las malezas; pero en la preparación con maquinaria la MOS más profunda queda expuesta en los primeros horizontes y sufre mayor oxidación, es necesario realizar un análisis y una evaluación desde el punto de vista ecológico (García et al. 2018), ya que el uso excesivo de agroquímicos altera la biodiversidad de los suelos, alterando también las propiedades y características químicas de los suelos.

Las prácticas de labranza han sido la causa general de la disminución de la materia orgánica de suelos intensamente cultivados (Jaramillo, 2002).

3.6 Propiedades físicas y químicas del suelo

Es importante que exista un medio óptimo en los suelos para que puedan desarrollarse los cultivos, para que esto suceda debe haber una interacción dinámica entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Burbano, 2018), relacionadas con las reservas de C y el cambio climático global.

Entre las propiedades físicas de mayor importancia se encuentran la textura, la estructura, la densidad (Jaramillo, 2002).

La densidad aparente es la relación que existe entre la masa y el volumen del suelo, en este volumen está considerado todo el espacio poroso existente. Esta característica da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación (Jaramillo, 2002, García et al. 2018).

Los suelos de los Llanos Orientales presentan una densidad aparente que oscila de 1.2 a 1.95 g/cc (IGAC, 2000), siendo susceptibles a compactación.

Según García et al. (2018) al aumentar la densidad aparente disminuye la porosidad total, de esta manera se ve afectado la disponibilidad de agua y de oxígeno, la penetrabilidad de las raíces y otras características.

De los procesos que se presentan en el suelo, el más importante es el intercambio iónico junto con la fotosíntesis, son los dos procesos de mayor importancia para las plantas. El cambio iónico es debido casi en su totalidad a la fracción de arcilla y a la materia orgánica (Burbano, 2018).

Según Castro y Munevar (2013) el pH en un suelo es el primer indicador en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, este influye en la solubilidad,

movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. La cantidad de nutrientes presentes en un suelo determinan su potencial para la alimentación y nutrición de las plantas.

De acuerdo con Camacho-Tamayo et al. (2010), la fertilidad de los suelos de la Orinoquia de Colombia se ha modificado, debido a la intervención agrícola, influyendo en la variabilidad, principalmente, de la materia orgánica MO, el pH y el Al^{3+} intercambiable.

De ahí, la importancia de evaluar la variabilidad de las condiciones físico-químicas de los suelos asociadas al almacenamiento del C por influencia de los usos del suelo. Los altos niveles de MOS favorecen, desde una perspectiva sostenible, el mejoramiento de las propiedades físico-químicas del suelo.

3. METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio (Ubicación)

Este trabajo de investigación se realizó en el campus Barcelona en la Universidad de los Llanos en la vereda Barcelona en la ciudad de Villavicencio, Meta. Con coordenadas geográficas 4°04'20.36"N, 73° 34'52.15"O, presentando una elevación de 385msnm.

4.2 Selección de los sistemas de producción

Los sistemas de producción fueron seleccionados acorde al tiempo de su producción, estos fueron clasificados en: Cultivos semestrales y cultivos perennes, todos ubicados en el área de estudio de la Universidad de los Llanos en la granja Barcelona (Tabla 1).

Tabla 1. Sistemas de producción seleccionados, ubicados en la granja Barcelona, Universidad de los Llanos.

Lote 1 (perenne)	Cítricos (Ci)	(4°04'20.36"N,73°34'52.15"O)
Lote 2 (perenne)	Guanábana (G)	(4°04'20.36"N,73°34'52.15"O)
Lote 3 (semestral)	Arroz, maíz (SEM)	(4°04'20.36"N,73°34'52.15"O)

4.3 Diseño experimental

Los tratamientos corresponden a los siguientes usos del suelo, que son: Guanábana, cítricos y semestrales (principalmente arroz). El análisis a aplicar fue un análisis de tipo multivariado siguiendo los lineamientos del trabajo de Silva-Parra et al. (2017).

El análisis multivariado está compuesto por: a) análisis descriptivo de las variables, b) análisis de correlaciones, c) análisis de componentes principales (ACP) y d) el de agrupamiento jerárquico (AAJ), en el análisis multivariado los resultados se explican mediante la conformación de grupos o de similaridad de acuerdo a distancias Euclidianas, de cada uno de los puntos individuales de muestreo en cada uno de los sistemas, lo que permitirá visualizar las relaciones con los stocks de C y las propiedades físico-químicas analizadas, constituyéndose en herramienta para caracterizar la variabilidad del área de estudio y distinguir los sistemas que más acumulan C en el suelo.

4.4 Muestreos y variables físico-químicas analizadas

En cada uno de estos sistemas se tomaron muestras en diferentes puntos en una cuadrícula de 10m x 10m, a 20 cm de profundidad, y se extrajo una muestra de 1 kg, que se procesó en el laboratorio de Suelos de la Universidad de los Llanos para determinar el Stock de C y algunas propiedades físico-químicas del suelo (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Propiedades físicas analizadas

Variables	Metodología	Autor
Densidad aparente (Da)	Cilindro (g/cc) Pss/Vc	IGAC, 2006
Porosidad total (Pt)	A partir de datos de Densidad aparente y real Pt= 1-Da/Dr x 100	IGAC, 2006
Resistencia a la penetración (RP)	Penetrografo	IGAC, 2006

Tabla 3. Propiedades químicas analizadas

Variables	Metodología	Autor
pH 1:1	Relación 1:1 agua: suelo, mediante Método Potenciómetro.	IGAC, 2006
pH KCl	KCl 0,1N	IGAC, 2006
Delta pH	Diferencia entre pH 1:1 y pH KCl	
MOS	Walkley & Black	IGAC, 2006
P-disponible	Bray II	IGAC, 2006
COS	MOS/1.725	IGAC, 2006
Al int	KCL 0.1N	IGAC, 2006

4.5 Determinación del Stock de C del suelo

4.5.1 Stock de Carbono. Para poder determinar el stock de Carbono en el suelo se utilizó la siguiente formula:

Stock C (t/ha)= COS (%) x (DA x 100) x profundidad en m

Donde DA= Densidad Aparente del Suelo (g/cc), COS= % de Carbono Orgánico del Suelo a partir de la Materia Orgánica del Suelo (%) COS=%MOS/1.725

Las propiedades físicas relacionadas con las reservas de COS que se evaluaron fueron densidad aparente, porosidad total y resistencia a la penetración (Tabla 2) y las propiedades químicas analizadas fueron: pH 1:1 y pH en KCl, MOS, COS, P-disponible y Al intercambiable (Tabla 3)

4.6 Análisis estadístico

Con los datos recogidos en los diferentes puntos, se realizó una matriz de datos, donde se realizó la estadística descriptiva de los datos, y se aplicó un análisis estadístico de tipo multivariado, análisis de componentes principales, análisis de correlaciones y análisis de conglomerados o clúster (Rodríguez-Garay et al. 2016). Los datos se procesaron en Infostat versión 2015.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Determinación de los stocks de Carbono y algunas propiedades fisicoquímicas

El pH en agua varió de 4.05 en cultivo de cítricos a 5.62 en cultivo de guanábana (Tabla 4), con una media de 4,48, y un coeficiente de variación de 16,84%, indicando que la variación en pH no es significativa, y que por lo tanto predominan las condiciones ácidas en los sistemas evaluados. Esto concuerda con los estudios de Cox et al. (2006), el pH es una de las propiedades químicas del suelo que menos varía y su CV fluctúa de 2 a 15% y se debe a que se mide en escala

logarítmica y, por consiguiente, se reduce la expresión de la variabilidad, lo cual concuerda también con los estudios de Silva-Parra et al. (2017), en diferentes suelos dedicados a café en la Orinoquía.

Tabla 4. Estadística descriptiva de las diferentes propiedades químicas y físicas en los suelos evaluados en la granja Barcelona

RESUMEN	pH-H ₂ O	pH-KCL	DpH	Da g/cc	COS %	MOS %	P mg/kg	RP Kp	StockC t/ha	PT %	AL Int cmolc/kg
N	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00
Media	4,48	4,03	0,48	1,39	2,39	4,12	31,49	1,72	70,41	52,35	1,91
D.E	0,75	0,39	0,44	0,16	1,73	2,98	28,46	0,36	59,50	6,15	0,69
CV %	16,84	9,67	91,91	11,77	72,31	72,32	90,36	21,11	84,50	11,75	36,12
Min	3,70	3,60	-0,20	1,14	0,79	1,37	1,66	1,26	21,20	43,05	0,35
Max	6,65	5,60	1,31	1,67	8,09	13,95	149,18	2,83	270,20	63,01	2,90

El pH del suelo es un parámetro químico que afecta todo el proceso agrícola productivo, ya que su actividad actúa sobre las características fisicoquímicas y biológicas del suelo, pero también sobre la productividad de las plantas, debido a que disminuye la disponibilidad de algunos nutrientes en la solución suelo (Camacho-Tamayo 2010). Los resultados de la tabla 4 indican que el pH en KCl de estos suelos tiene una media de 4,03 que corresponde a suelos muy fuertemente ácidos y con un CV menor de 12%, correspondiente a 9,67 (Tabla 4). El Delta pH (DpH), que es la diferencia entre pH_{H₂O} y pH_{KCl} mostró una variabilidad alta del 91,91% (Tabla 4), y un rango que varió de -0,20 a 1,31, esto debido posiblemente a la diferencia en sus determinaciones. Está relacionado con la potencial variación del pH en el suelo. Este se define también como el poder buffer o tampón del suelo. Suelos arcillosos son más tamponados y su delta pH es más pequeño. En cambio, en suelos arenosos su poder tampón es mucho menor,

es decir, el pH puede ser fácilmente modificable. Por lo tanto, en suelos con alto delta pH o bajo poder tampón las plantas pueden modificar fácilmente el pH de la zona rizosférica y así lograr una adecuada nutrición. Este resultado indicaría que los usos del suelo evaluados responderían bien a los cambios de pH mediante práctica de encalado sobre suelos arenosos, ya que ésta es una de las características texturales de los suelos de Barcelona.

La alternativa de encalado aún sigue siendo una práctica común para disminuir la acidez del suelo; esta práctica ya no se basa en el incremento del pH del suelo sino en la neutralización del aluminio intercambiable (Castro & Munevar, 2013).

La Densidad aparente del suelo fue más alta en cultivo de guanábana (1.60 g/cc), que en semestral (1.37 g/cc), que en cítricos (1.26 g/cc) (Tabla 5), variando los datos de 1.14 a 1.67 g/cc (Tabla 4).

Esto evidencia que los suelos presentan algún grado de compactación principalmente en cultivo de guanábana donde se viene realizando labranza cero considerando que los suelos de la granja corresponden a suelos franco-arenosos y el nivel de compactación inicia en los 1.6 g/cc, eso indica que la baja aireación puede ser debida a que los suelos no se preparan para acondicionar mejor aireación a los suelos provocando compactación con el tiempo de uso.

Varias investigaciones han demostrado que los efectos de diferentes tipos de labranza sobre las propiedades físicas de suelo no son apreciables en periodos cortos (un ciclo productivo) (Ceballos et al., 2010).

Tabla 5. Medidas resumen de las variables analizadas por cada uso de suelo

SISTEMA	Variable	N	Media	D.E	CV	Min	Màx
Ci	pH-H2O	10	4,05	0,27	6,71	3,70	4,50
Ci	pH-KCL	10	3,95	0,05	1,33	3,90	4,00
Ci	DpH	10	0,18	0,24	135,58	-0,20	0,50
Ci	Da	10	1,26	0,09	7,10	1,14	1,39
Ci	COS	10	1,01	0,15	14,63	0,79	1,22
Ci	MOS	10	1,74	0,25	14,63	1,37	2,11
Ci	P	10	12,36	12,59	101,87	1,66	37,25
Ci	RP	10	1,91	0,21	11,12	1,60	2,30
Ci	STOCK C	10	25,21	2,61	10,36	21,20	29,00
Ci	PT	10	47,62	3,36	7,07	43,05	52,40
Ci	AL int	10	2,41	0,36	14,95	1,60	2,80
G	pH-H2O	7	5,62	0,53	9,52	4,90	6,65
G	pH-KCL	7	4,48	0,54	12,14	3,92	5,60
G	DpH	7	1,14	0,11	9,60	0,98	1,31
G	Da	7	1,60	0,06	3,64	1,51	1,67
G	COS	7	4,84	1,54	31,86	3,23	8,09
G	MOS	7	8,35	2,66	31,87	5,57	13,95
G	P	7	53,60	45,05	84,06	19,43	149,18
G	RP	7	1,83	0,52	28,58	1,29	2,83
G	STOCK C	7	156,08	54,46	34,89	97,54	270,20
G	PT	7	60,36	2,19	3,62	57,00	63,01
G	AL int	7	1,51	0,80	52,51	0,35	2,40
SEM	pH-H2O	10	4,11	0,12	2,84	3,89	4,27
SEM	pH-KCL	10	3,79	0,10	2,62	3,60	3,90
SEM	DpH	10	0,31	0,14	44,20	0,00	0,50
SEM	Da	10	1,37	0,12	8,53	1,25	1,66
SEM	COS	10	2,06	0,28	13,51	1,62	2,43
SEM	MOS	10	3,54	0,48	13,49	2,79	4,18
SEM	P	10	35,16	5,15	14,64	28,99	46,31
SEM	RP	10	1,46	0,17	11,91	1,26	1,74
SEM	STOCK C	10	55,65	4,83	8,69	48,10	64,20
SEM	PT	10	51,48	4,39	8,53	47,10	62,60
SEM	AL int	10	1,69	0,61	36,10	1,20	2,90

El contenido de COS indica una media de 2,39 (Tabla 4), con un rango que vario de 1.01% en cultivo de cítricos (Tabla 5) a 4.89 en cultivo de guanábana, con un valor medio en semestral de 2.06% (Tabla 5), y un coeficiente de variación alto del 72,31%, esta alta variabilidad puede estar explicada por los usos y manejo de los

suelos que son cambiantes de un sitio a otro en cuanto a los contenidos de la materia orgánica del suelo. El valor más alto encontrado en guanábana es el resultado de que son árboles perennes que aportan gran cantidad de hojarasca al suelo, con estructuras altamente lignificadas que aportan mayormente a la formación de materia orgánica estable del suelo.

La materia orgánica arrojó una media de 4,12 % siendo esto elevado teniendo en cuenta que según (IGAC, 2000) la materia orgánica del suelo en clima cálido su media se encuentra entre 2 – 3 %, esto indica que estos suelos tienen un alto contenido de materia orgánica, especialmente el cultivo de guanábana, esto puede justificarse debido a la poca explotación de este suelo, ya que la labranza especialmente en este lote ha sido nula comparada con los cultivos semestrales que han sido sometidos a una labranza de tipo convencional en la granja Barcelona, generándose una alta oxidación de la materia orgánica y pérdida de COS (Burbano, 2018), como fue evidenciado en semestrales.

La MOS juega un papel clave en la fertilidad de los suelos como fuente de nutrientes para las plantas y fuente de energía para los microorganismos, y a través de funciones de tipo biológico, químico y físico, derivadas de las muchas y variadas reacciones gobernadas por la MOS, entre las que se incluyen cambio iónico, oxidación-reducción, capacidad tampón, complejación de metales y adsorción de compuestos orgánicos naturales y/o xenobióticos (Lal, 2004), sistemas de producción mejor provistos de MOS resisten mejor los efectos negativos del cambio climático global (Burbano, 2018).

El P presentó una media de 31.49 mg/kg, mínimo de 1.37 y máximo de 149.18 mg/kg, en cítricos la media fue de 12.36 mg/kg, en guanábana de 53.60 mg/kg y

en semestrales de 35.16 mg/kg. El rango mínimo en guanábana fue 19.43 mg/kg y el máximo de 149.18 mg/kg. Los coeficientes de variación de 90.36%, indicando una alta variabilidad de los datos, lo cual concuerda con Roger et al. (2014). “Los valores altos de P mayores a 40 mg/kg reflejan el efecto de la intervención agrícola, con contenidos mayores a 5 mg/kg” (Camacho, 2010, p. 279). Sin embargo, estos mismos autores reportaron que Jaimes et al. (2003) encontraron contenidos inferiores a 1 mg/kg en sabana nativa de los Llanos Orientales. Valores inferiores a 20 mg/kg o ppm indican baja disponibilidad del P. Al respecto de los valores mínimos encontrados, "los suelos tropicales altamente meteorizados (Oxisoles, Ultisoles) se caracterizan por niveles bajos de P total y disponible y por la alta capacidad de fijación de P" (Friessen et al., 2013, p. 148).

La resistencia a la penetración presentó un mínimo de 1.26 Kp, y un máximo de 2.83 Kp, en cítricos se presentó una medida de 1.91 Kp, en guanábana de 1.83 Kp, y en semestral de 1.46 Kp, estos valores indicarían que la resistencia a la penetración medida en los primeros 20 cm de suelo no presenta impedimentos físicos para el desarrollo radicular ya que no es mayor a 4.0. Su interpretación sirve como indicador de la compactación, estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo, en guanábana el valor es el más alto, y puede estar relacionado con los mayores valores de Da encontrados.

Los valores en su defecto indican que los stocks de carbono en estos suelos tienen un valor mínimo de 21,20 y una máxima de 270,20 tC/ha (Tabla 4), siendo mayor el contenido de stocks de carbono en el sistema de producción de guanábana (Tabla 5).

Los stocks de carbono en su media se encuentran en 70,41 tC/ha (Tabla 4), la Tabla 5, indica que en el cultivo de guanábana, los stock de carbono son mayores en comparación con los sistemas de cítricos y semestrales. En los bosques tropicales la capacidad de almacenamiento de C varía entre 67.5 y 171 t/ha C (Arévalo et al., 2002), los stocks de C pueden proceder del almacenamiento de C en la biomasa y en el suelo.

El C en la atmósfera se acumula a un ritmo de 3,4 Gt de C por año con relación con la capacidad global de reserva del suelo, representado por un porcentaje muy bajo (0,16 %). No obstante, un aumento incluso mínimo del C almacenado en el suelo (stock de C del suelo) por lo aumentos de la MOS, podría tener consecuencias significativas sobre las concentraciones de CO₂ atmosférico (Lal, 2004). La Materia Orgánica del Suelo (MOS) contiene la mayor cantidad de C de la superficie de la Tierra (2,157-2,293 Pg; Pg =10¹⁵ g), el doble del presente en la atmósfera (760 Pg), y de 2 a 3 veces mayor que el de todos los organismos vivientes en el conjunto de ecosistemas terrestres (Trumbore and Torn, 2003). Una característica de la MOS que ha adquirido especial relevancia ambiental en los últimos años es su elevado potencial para secuestrar C de forma estable, principalmente a través de los procesos de humificación y de formación de complejos organominerales, que conducen o favorecen la formación de formas estables de C orgánico (Burbano, 2018). Posiblemente, en los cultivos semestrales evaluados, los menores stocks de C del suelo, estarían indicando una degradación de la MOS, debido al manejo intensivo del suelo que se viene ocasionando debido no solo al uso sino al tiempo de uso.

La porosidad total presentó una media de 52,35%, catalogada como ideal (IGAC. 2000), con un mínimo de 43,05, y un máximo de 63,01% y un CV de 11,75% (Tabla 4), indicando baja variabilidad entre los datos. En cítricos el valor de Pt fue de 47,62% en guanábana 60,36% y en semestral de 51,48% (Tabla 5), indicando que todos corresponden a suelos porosos, sin embargo, en próximos estudios es importante caracterizar mejor la porosidad en macro y microporosidad.

El aluminio intercambiable varió de 0,35 a 2,90 cmolc/kg, presentando una media de 1,91 cmolc/kg, un CV de 36,12% (Tabla 4). Siendo que el contenido fue mayor en cítricos con 2,41 cmolc/kg, que en guanábana que fue de 1,51 cmolc/kg, que en semestral de 1,69 cmolc/kg (Tabla 5), sin embargo, todos corresponden a contenidos altos según Jaramillo (2002).

El Al intercambiable en suelos de carga variable, dependiente del pH como en Oxisoles, se debe neutralizar con altas aplicaciones de cal (Flores et al, 2008). Esto indicaría que para todos los sistemas evaluados se debe hacer corrección del Al intercambiable con uso de cal agrícola, ya que los valores superan a 1 cmolc/kg.

5.2 Análisis multivariado de los stocks de C del suelo y las propiedades fisicoquímicas del suelo.

5.2.1 Análisis de correlaciones

El pH_{H_2O} correlacionó positivamente con el pH_{KCl} , la Da, el COS, la MOS, el P, los Stock de C, la PT, y negativamente con el contenido de Al intercambiable.

Suelos con mayores contenidos de MOS tienden a ser más ácidos. Por su parte la relación inversa con el Aluminio indica que a menores valores de pH el aluminio intercambiable aumenta exponencialmente. La Da del suelo correlacionó altamente con la MOS, los stock C del suelo, y la PT, indicando que buenos contenidos de MOS contribuyen a mejorar la Da de los suelos, existió una baja correlación entre la resistencia a la penetración y la densidad aparente Da, y se presentó una relación alta pero inversa con el Al. El COS, MOS y Stock de C presentan una correlación alta con los contenidos de Al intercambiable pero de manera inversa, esto indicaría que conforme se aumenta la MOS se puede disminuir los efectos del Al intercambiable en estos suelos. La RP es una variable que correlacionó muy bajo con los stock de C, la PT y el Al intercambiable (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de correlación/coeficientes

	pH-H ₂ O	pH-KCL	DpH	Da	COS	MOS	P	RP	STOCK C	PT	AL int
pH-H ₂ O	1,00										
pH-KCL	0,97	1,00									
DpH	1,00	0,94	1,00								
Da	0,96	0,87	0,98	1,00							
COS	0,97	0,88	0,99	1,00	1,00						
MOS	0,97	0,88	0,99	1,00	1,00	1,00					
P	0,85	0,69	0,90	0,96	0,95	0,95	1,00				
RP	0,33	0,55	0,24	0,06	0,10	0,10	-0,22	1,00			
STOCK C	0,98	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,14	1,00		
PT	0,96	0,87	0,98	1,00	1,00	1,00	0,96	0,06	1,00	1,00	
AL int	-0,68	-0,47	-0,74	-0,85	-0,83	-0,83	-0,96	0,48	-0,80	-0,85	1,00

5.2.2 Análisis de componentes principales

El 100% de la variabilidad total de los datos se conformaron en dos grupos: el componente principal 1 CP1 reunió el 85% de la variabilidad total, el CP2 el 15% de la variabilidad total (Tabla 7).

Tabla 7. Autovalores

LAMBDA	VALOR	PROPORCIÓN	ACUMULADO
1	9,30	0,85	0,85
2	1,70	0,15	1,00
3	0,00	0,00	1,00
4	0,00	0,00	1,00
5	0,00	0,00	1,00
6	0,00	0,00	1,00
7	0,00	0,00	1,00
8	0,00	0,00	1,00
9	0,00	0,00	1,00
10	0,00	0,00	1,00
11	0,00	0,00	1,00

El CP1 estuvo explicado principalmente por las variables >0,70, pH en agua y KCl, DpH, P de manera directa e inversamente con el aluminio, indicando que este componente principal divide los sistemas de suelos muestreados con respecto a la acidez de los suelos (Tabla 8), pudiendo influenciar fuertemente los stocks de C del suelo.

Los suelos que presentan baja MOS como los muestreados pueden tener menor habilidad de ligar metales como el Al, ya que los Oxisoles presentan carga variable dependiente del pH, eso indica que bajo condiciones de acidez solo presentan capacidad de intercambio aniónica (CIA), el Al por ser un catión tendrá poca posibilidad de adherirse a la fase cambiante y presenta mayores posibilidades de acidificar la fase solución, ya que conforme se aumenta la hidrólisis del Al se

aumenta exponencialmente los hidrogeniones en solución del suelo (Jaramillo, 2002).

Tabla 8. Correlaciones con las variables originales

VARIABLES	CP 1	CP 2
pH-H ₂ O	0,98	0,22
pH-KCL	0,89	0,46
DpH	0,99	0,13
Da	1,00	-0,05
COS	1,00	-0,01
MOS	1,00	-0,01
P	0,95	-0,32
RP	0,11	0,99
STOCK C	1,00	0,03
PT	1,00	-0,05
AL int	-0,82	0,57

Correlación cofenética = 1,000. Valores >0,7 (valor absoluto) aparecen en negrilla.

El CP2 estuvo explicado principalmente por la variable RP (Tabla 8), indicando que el segundo componente está más relacionado con la parte física de los suelos, pudiendo influenciar los stocks de C del suelo.

El factor 1, definido por el CP1, relativo a bajos contenidos de pH en agua, KCl, y delta pH, alto Al intercambiable de manera inversa en la Figura 1, definen la mayor relación con la MOS, COS, y P-disponible, como con la RP, como se observa en la figura 1; la RP en el plano cartesiano está definida por el CP2 y muestra la poca relación con las demás variables analizadas.

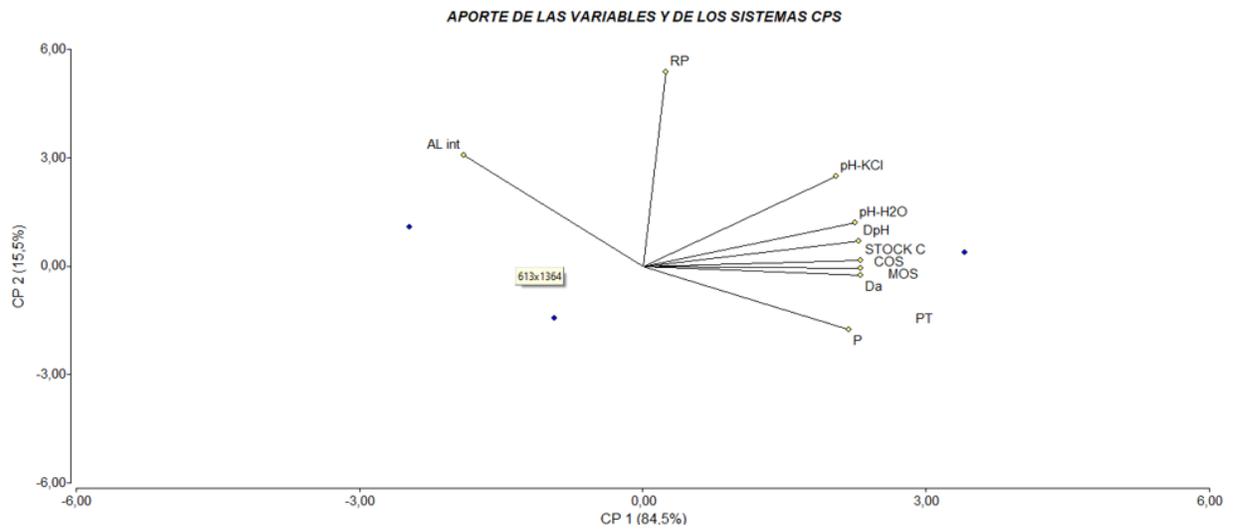


Figura 1. Participación de las variables en los 2 CPS, expresados en un plano.

5.3 Usos del suelo con mayores reservas de C asociadas a las propiedades físico-químicas del suelo, manejo.

De acuerdo con el análisis de clústeres, relacionados en las Figuras 2 y 3, se detectaron dos tipologías relacionadas con los stocks de C del suelo, las cuales, las primeras hacen referencia a los sistemas productivos y la segunda a las variables analizadas.

En la Figura 2 por tipo de sistemas se distinguen dos grandes grupos, siendo que los cultivos semestrales y de cítricos son más similares en cuanto a las reservas de C que son menores, diferenciándose del cultivo de guanábana donde las reservas de C son mayores, conformando el clúster 1.

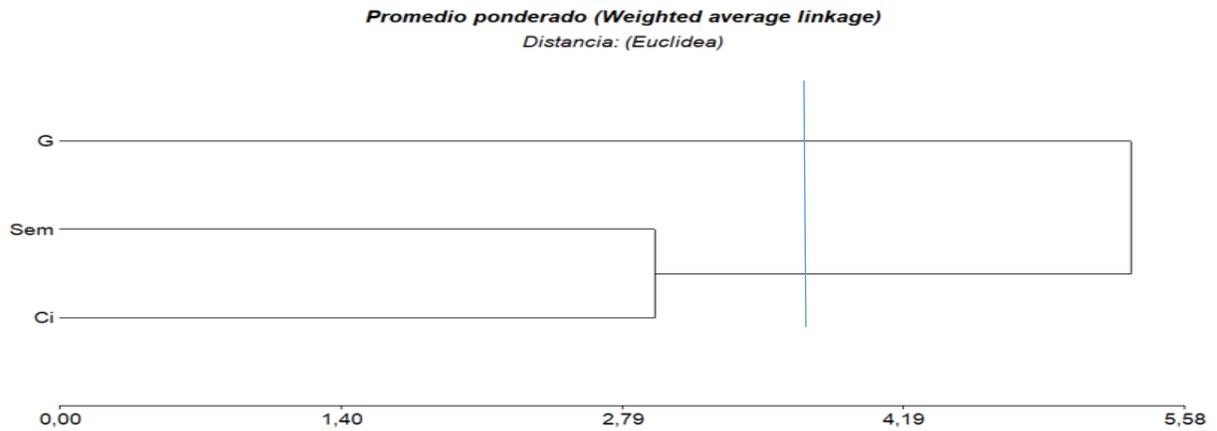


Figura 2. Conformación de clúster por sistemas evaluados

Esto indicaría que el cultivo de guanábana es de larga duración con un alto aporte de hojarasca incrementando la MOS, igualmente la labranza cero mejora la MOS estable del suelo, distinguiéndose del otro clúster que está conformado por cítricos y semestrales con una alta similaridad entre ellos, de acuerdo con las distancias euclidianas encontradas y reportadas en los Anexos A y B. Por su parte, en la Figura 3 se muestra que se conformaron otros dos grandes clúster, el clúster 1 reunió las variables AI y RP reunidas en un solo grupo, y en el clúster 2 quedaron reunidas el resto de variables.

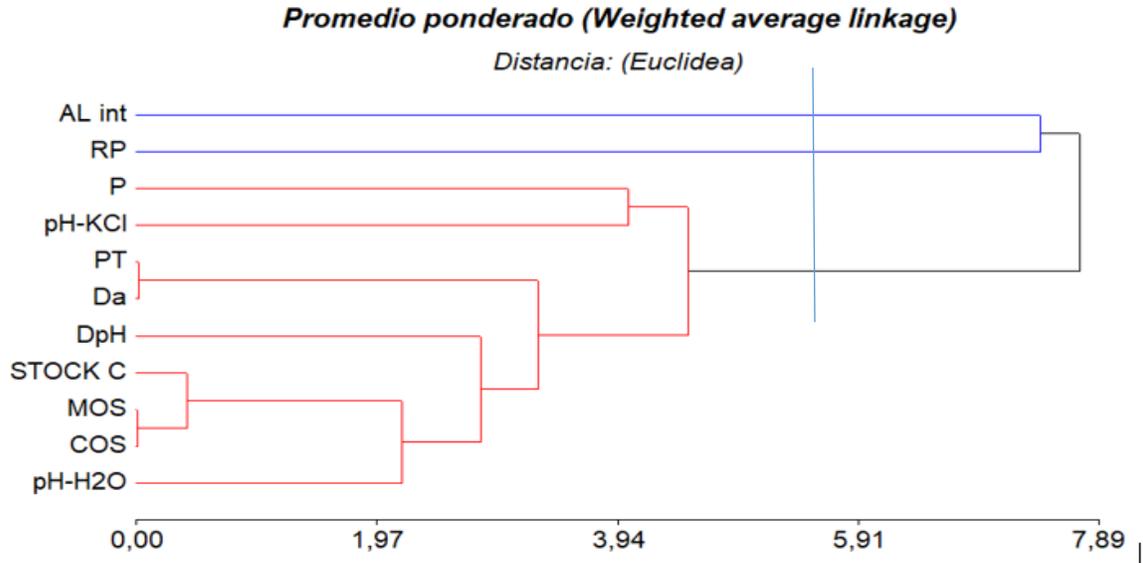


Figura 3. Conformación de clúster por variables medidas.

Esto permite definir que los stocks de C del suelo están más relacionadas con la densidad aparente del suelo, los contenidos de la MOS, la porosidad total Pt en los sistemas muestreados, y de manera inversa con los contenidos de Aluminio intercambiable y resistencia a la penetración RP.

En este sentido, el manejo de los suelos debe estar encaminado a mejorar los lotes de la Granja Barcelona con sistemas productivos que aporten mayores contenidos de la MOS como uso de suelos con árboles perennes (Nair et al. 2010), y manejo de los suelos con labranza cero y/o reducida, ya que ésta permite oxidar menos rápidamente la materia orgánica lábil del suelo, generándose ganancias de C en el largo plazo y aumentar las reservas de C. Esto concuerda con varios autores, que mencionan que el carbono orgánico del suelo es importante ya que como parte de la materia orgánica influye en las propiedades del suelo como la densidad aparente, y la porosidad, la capacidad de intercambio

catiónico, disminuyendo el Al intercambiable y la acidez del suelo (Lal, 2004, Burbano, 2018). Es decir, el cambio de uso de la tierra y la explotación agrícola continuada e intensiva, con aplicación de maquinarias y fertilizantes, provoca la pérdida de la materia orgánica y del carbono orgánico, que da lugar a la degradación de estas propiedades y disminuye la productividad de los suelos (Bojórquez-Serrano et al. 2015). La conformación de clúster conduce a manejo más específicos, siendo que en los lotes de semestrales se debe empezar a implementar medidas como la rotación de cultivos que permitan restablecer los contenidos de la MOS (Lal, 2004).

6 CONCLUSIONES

Las reservas de C del suelo, materia orgánica del suelo, y stocks de C del suelo son más altas en Guanábana, que en semestrales y en cítricos, otras propiedades como el pH y el Aluminio intercambiable indicaron que predominan condiciones de acidez en los sistemas productivos evaluados.

El análisis multivariado permitió distinguir claramente dos grandes grupos o clúster, el primer grupo conformado por guanábana indicando unas mayores reservas del COS, del segundo grupo, conformado por semestrales y cítricos, con menores reservas de COS.

El manejo de los sistemas evaluados debe enfocarse en mejorar la acidez de los suelos para mejorar las reservas de C del suelo, y en la implementación de usos del suelo que aporten mayores contenidos de MOS como la implementación de árboles perennes.

7 BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, E. y MARTÍNEZ, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos, en Acevedo, E.: Sustentabilidad en Cultivos Anuales. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 8, p. 13-25.
- ARÉVALO, L.A., ALEGRE, J.C., PALM, C. (2002). Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Manual. ICRAF-CODESU-INIA-INRENA. pp. 3-20
- BOJÓRQUEZ SERRANO, JOSÉ I, CASTILLO PACHECO, LUCÍA A, HERNÁNDEZ JIMÉNEZ, ALBERTO, GARCÍA PAREDES, JUAN D, & MADUEÑO MOLINA, ALBERTO. (2015). Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas. Cultivos Tropicales, 36(4), 63-69.
- BAUER, A., BLACK, A. L. (1994). Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 58, 185-193.
- BURBANO, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. Rev. Cienc. Agr. 35(1): 82-96. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.
- CAMACHO, J. H., LUENGAS, C., LEIVA, F. (2010). Multivariate analysis of chemical properties in Oxisols with different levels of intervention agricultural. Acta agronómica. 59 (3), 273-284.
- CARTER, M.R. (2002). Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. Agron. J. 94, 38-47.

- CASTRO, J.; MUNÉVAR, O. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2):409-416.
- CEBALLOS, D. HERNÁNDEZ, O. & VÉLEZ, J. (2010). Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas de un andisol del departamento de Nariño. Revista de Agronomía. 25 (1): 40-48.
- COX, M.S.; GERARD, P.D.; MELINDA, A.J. (2006). Selected soil properties variability and their relationships with yield in three Mississippi fields. Soil Sci. 171:541- 551.
- DAO, T.H. (1998). Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. Agronomy Journal 88: 141-148.
- FAO (2004). El Estado de la Inseguridad Alimentaria en el Mundo. SOFI.
- FAO. (2017). Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia
- FAO & GTIS. (2015). Status of the World's Soil Resources, Roma: s.n
- FLORES, J. P., CASSOL, L. C., ANGHINONI, I., CARVALHO, P. C. (2008). Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 32 (6), 2385 - 2396.
- FRIESEN, D. K., RAO, I. M., THOMAS, R. J., OBERSON, A. Y SANZ, J. I. (2013). Adquisición y reciclaje de fósforo en sistemas de cultivos y pasturas en suelos tropicales de baja fertilidad. En: Sistemas agropastoriles: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT);

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia;
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
(Documento de Trabajo CIAT No. 223). ISBN 978-958-694-117-4.

GARCÍA, D., CÁRDENAS, J. & SILVA, A. (2018). Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físicoquímicas y microbiológicas en un inceptisol. *Rev. Cienc. Agr.* 35(1): 16-25. doi:<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.79>.

GOUGOULIAS, C., CLARK, J. M. & SHAW, L. J. (2014). The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94: 2362- 2371.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC-. 2000. Consideraciones generales para interpretar análisis de suelos. Subdirección de agrología. Bogotá, Colombia: IGAC. 324p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC-. 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Ed. IGAC (Colombia). 648p.

JARAMILLO, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: Facultad de Ciencias.

LAL, R., ECKERT, D. J., FAUSEY, N. R., EDWARDS, W. M., 1990. Conservation tillage in sustainable agriculture. In: C. A. Edwards, R. Lai, P. Madden, R. H. Miller and G. House, *Sustainable Agriculture Systems*. Soil and Water Conservation Society, Iowa, USA, pp. 203-225.

LAL, R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ - enrichment. *Soil Till. Res.* 43, 81-107.

- LAL, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627
- MONNIER, G., THEVENET, G., LESAFFRE, B. 1994. Simplification du travail du sol. *Colloques INRA n° 65*, 172 pp.
- NAIR, P. K., NAIR, V., KUMAR, B. M., SHOWALTER, J. M. (2010). Carbon sequestration in agroforestry systems. *Adv Agron*, 108, 237–307.
- RASMUSSEN, P. E., PARTON, W. J. (1994). Long term effect of residue management in wheat - fallow: I. Inputs, yield, and soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 523-530.
- ROGER, A.; LIBOHOVA, Z.; ROSSIER, N.; JOOST, S.; MALTAS, A.; FROSSARD, E.; SINAJ, S. (2014). Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland. *Geoderma*. 217-218:26-36.
- RODRÍGUEZ-GARAY, F.A.; CAMACHO-TAMAYO, J.H.; RUBIANO-SANABRIA, Y. (2016). Variabilidad espacial de los atributos químicos del suelo en el rendimiento y calidad de café. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agrop.* 17(2):237-254.
- SÁNCHEZ, J. E., HARWOOD, R. R., WILLSON, T. C, KIZILKAYA, K, SMEENK, J., PARKER, E., PAUL, E.A. KNEZEK, B.D., ROBERTSON, G.P. (2004). Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agron. J.* 96. 769-775.
- SILVA-PARRA, A.; COLMENARES-PARRA, C.; ÁLVAREZ-ALARCÓN, J. (2017). Análisis multivariado de la fertilidad de los suelos en sistemas de café orgánico en Puente Abadía Villavicencio. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 289-298.

- TAVAREZ-FILHO, J., TESSIER, D. (1998). Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Parana (Brésil). *Etudes et Gestion des sols* 5(1):61-71.
- TRUMBORE, S.E. AND TORN, M.S. (2003). Soils and the global carbon cycle. In EA Holland, ed. *Soils and global change*, NATO Advanced Study Institute, in press, LBNL-44910
- WANDER, M.M., WALTER, G.L., NISSEN, T.M., BOLLERO, G.A., ANDREWS, S.S., CAVANAUGH-GRANT, D.A. (2002). Soil quality: Science and process. *Agron. J.* 94, 23-32.
- VAN DER WAL, A. & DE BOER, W. (2017). Dinner in the dark: Illuminating drivers of soil organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 105: 45-48.
- WEST, T.O., POST, W.M. (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1930-1946.

ANEXOS

ANEXO A. ANALISIS DE CONGLOMERADOS USOS DEL SUELO

Promedio ponderado (Weighted average linkage)

Distancia: (Euclidea)

Correlación cofenética = 0,914

Variables estandarizadas

Casos leídos 27

Casos omitidos 0

Tabla 1 de anexos. Distancias Euclideas

	CI	G	SEM
CI	0,00		
G	5,92	0,00	
SEM	2,96	4,71	0,00

Tabla 2 de anexos. Matriz de distancias ultra métricas

	CI	G	SEM
CI	0,00		
G	5,32	0,00	
SEM	2,96	5,32	0,00

ANEXO B. ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

Promedio ponderado (weighted average linkage)

Distancia: (Euclidea)

Correlación cofenética = 0,967

VARIABLES ESTANDARIZADAS

Casos leídos 27

Casos omitidos 0

Tabla 3 de anexos. DISTANCIAS EUCLIDEAS PARA PROPIEDADES

	pH-H2O	pH-KCL	DpH	Da	COS	MOS	P	RP	STOCK C	PT	AL int
pH-H2O	0,00										
pH-KCL	2,72	0,00									
DpH	2,30	4,64	0,00								
Da	3,18	4,64	3,26	0,00							
COS	2,29	3,14	3,39	3,59	0,00						
MOS	2,28	3,14	3,39	3,59	0,01	0,00					
P	4,36	4,03	5,15	5,13	3,48	3,48	0,00				
RP	6,88	7,06	6,61	7,50	7,55	7,55	8,33	0,00			
STOCK C	2,08	2,95	3,30	3,34	0,42	0,42	3,53	7,51	0,00		
PT	3,17	4,63	3,26	0,02	3,59	3,59	5,13	7,49	3,33	0,00	
AL int	8,02	7,46	8,44	8,60	8,28	8,28	7,66	7,40	8,25	8,60	0,00