

# COMPARACIÓN DE DOS METODOLOGÍAS PARA MEDIR CAMBIOS EN LAS EXISTENCIAS DE CARBONO EN DIFERENTES USOS DEL SUELO DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO

## COMPARISON OF TWO METHODOLOGIES TO MEASURE CHANGES IN CARBON STOCKS IN DIFFERENT USES OF THE SOIL OF THE MUNICIPALITY OF VILLAVICENCIO

## COMPARAÇÃO DE DUAS METODOLOGIAS PARA MEDIR AS MUDANÇAS EM ESTOQUES DE CARBONO EM DIFERENTES USOS DO SOLO DO MUNICIPALIDADE DE VILLAVICENCIO

Jesús Álvarez C<sup>1</sup>; Rene Peña R<sup>2</sup>.

<sup>1,2</sup> Estudiante de Ingeniería agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Programa de Ingeniería Agronómica Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.

### RESUMEN.

El objetivo general de la presente investigación fue comparar los cambios en las existencias de carbono en diferentes usos del suelo por la metodología del Panel intergubernamental de cambio climático (IPCC) y los datos generados en la zona, con la finalidad de conocer los sistemas que ayudan a mitigar los efectos negativos del cambio climático. Se identificaron 11 sistemas productivos, de los cuales se dividieron en tres zonas dentro del municipio de Villavicencio, con dos tiempos de uso diferentes, inicial ( $T_0$ ) y final ( $T_{0-1}$ ) evaluándose 22 sistemas productivos de la región, además se elaboró la caracterización de los sistemas, en los que se destacaba los factores de manejo del suelo y aporte de residuos, para así, identificar los valores por defecto establecidos por el IPCC y proyectar los cambios de las existencias de C del suelo a 20 años. Para ambas metodologías los stocks de C inicial en los sistemas productivos se realizó mediante la metodología de colorimetría (Walkley & Black) a 0.30 m de profundidad, y para determinar las  $tpgc$  ( $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ) (valores por defecto) en la zona se calculó por diferencia entre el stock de  $C_0$  y  $C_{0-1}$ , dividido por la dependencia del tiempo de uso. En la metodología del IPCC, se usaron los valores por defecto. Se realizó análisis multivariado de componentes principales, conglomerados y de correlaciones mediante distancias euclidianas, en las que se estableció que la MO en las proyecciones del IPCC se correlaciono positivamente con el COS, con el stock de C inicial y final además de las ( $Tpgc$ ), pero se correlaciono negativamente con el ( $CO_2\ eq$ ), por último la

densidad aparente del suelo (DA) se correlaciono positivamente con la resistencia a la penetración (RP), dándose los dos grupos marcados en el histograma (figura 2), se establecieron 4 clúster para los sistemas evaluados, y se organizaron según las características dadas en el dendograma: los cuales se presentaron en alto retenedor, medio alto retenedor, bajo retenedor de carbono y los sistemas emisores de CO<sub>2</sub>eq. En ambos casos, por ende los sistemas agroforestales y silvopastoriles se determinaron como los mayores retenedores de carbono del suelo y los sistemas de monocultivos como arroz y maíz como emisores de C. Se establecieron los valores por defecto de la zona y se compararon con las del IPCC demostrando que el 50% de los datos están subestimados y que es necesario implementar nuevas metodologías para la región en base a datos recogidos y evaluados para cultivos de la zona.

**Palabras clave:** Cambio Climático, Suelos, Materia Orgánica, Sostenibilidad de los sistemas

## 1. ABSTRACT.

The general objective of this research was to compare the changes in carbon stocks in different land uses between the methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and those values generated in the area, in order to know the systems than mitigate the negative effects of the change climate. 11 productive systems were identified, of which they were divided into three zones within the municipality of Villavicencio, with two different times of use, initial (T<sub>0</sub>) and final (T<sub>0-1</sub>), evaluating 22 production systems in the region, in addition the characterization of the systems, in which the factors of soil management and contribution of waste were highlighted in order to do so; Identify the default values established by the IPCC and project the changes in the stocks of C from the soil to 20 years. For both methodologies, the initial C stock in the production systems was carried out using the colorimetry methodology (Walkley & Black) at 0.30 m depth, and to determine the tpgc (t C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) (default values) in the area It was calculated by difference between the stock of C<sub>0</sub> and C<sub>0-1</sub>, divided by the dependence on the time of use. In IPCC methodology values for defect were used. Multivariate analysis of main components, conglomerates and correlations by Euclidean distances was performed, in which it was established that the MO in the IPCC projections was positively correlated with the COS, with the initial and final C stock in addition to the (Tpgc) , but it was negatively correlated with (CO<sub>2</sub> eq), finally the apparent soil density (DA) was positively correlated with penetration resistance (RP), giving the two groups marked in the histogram (figure 2), they were established 4 clusters for the systems evaluated, and were organized according to the characteristics given by the dendogram: which were presented in high retainer, medium high retainer, low carbon retainer and finally CO<sub>2</sub>eq emissors systems. Therefore, in both cases, agroforestry and silvopastoral systems were determined as the largest carbon retainers and monoculture systems such as rice and corn as emitters of C. The default values of the area were established and compared with those of the IPCC

showing that 50% of the data are underestimated and that it is necessary to implement new methodologies for the region based on data collected and evaluated for crops in the area.

**Keywords:** Climate Change, Soils, Organic Matter, Systems Sustainability

## 2. RESUMO

O objetivo geral desta pesquisa foi comparar as mudanças nos estoques de carbono em diferentes usos da terra pela metodologia do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e os dados gerados na área, a fim de conhecer os sistemas que ajudam para mitigar os efeitos negativos das mudanças climáticas. Foram identificados 11 sistemas de produção, dos quais foram divididos em três zonas no município de Villavicencio, com dois tempos de uso diferentes, inicial (T0) e final (T0-1), avaliando 22 sistemas de produção na região, além da caracterização dos sistemas, nos quais foram destacados os fatores de manejo do solo e contribuição dos resíduos, a fim de identificar os valores padrão estabelecidos pelo IPCC e projetar as mudanças nos estoques de C do solo para 20 anos. Para ambas as metodologias, os estoques iniciais de C nos sistemas de produção foram realizados usando a metodologia de colorimetria (Walkley & Black) a 0,30 m de profundidade e para determinar o tpgC (t C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (valores padrão) Na área, foi calculada a diferença entre o estoque de C0 e C0-1, dividida pela dependência do tempo de uso. Na metodologia do IPCC, foram utilizados os valores padrão. Foi realizada análise multivariada dos principais componentes, conglomerados e correlações por distâncias euclidianas, na qual foi estabelecido que o MO nas projeções do IPCC estava correlacionado positivamente com o COS, com o estoque inicial e final de C, além do (Tpgc) , mas foi negativamente correlacionado com (CO2 eq), finalmente a densidade aparente do solo (DA) foi positivamente correlacionada com a resistência à penetração (PR), dados os dois grupos marcados no histograma (figura 2), foram estabelecidos 4 clusters para os sistemas avaliados, e foram organizados de acordo com as características indicadas no dendograma: apresentadas em sistemas de alta retenção, média alta retenção, baixa retenção de carbono e emissores de CO2eq. Em ambos os casos, portanto, os sistemas agroflorestais e silvipastorais foram determinados como os maiores retentores de carbono do solo e sistemas de monocultura, como arroz e milho, como emissores de C. Os valores padrão da área foram estabelecidos e comparados com os dos O IPCC demonstra que 50% dos dados estão subestimados e que é necessário implementar novas metodologias para a região com base nos dados coletados e avaliados para as culturas na área.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas, Solos, Matéria Orgânica, Sustentabilidade de Sistemas

## **INTRODUCCIÓN.**

Las diferentes labores agrícolas son fuentes de gases de efecto invernadero que más causan daño a la atmosfera; debido a que para la producción industrial de alimentos se definió una alta dependencia de productos químicos y fertilizantes, además de la mecanización agrícola causando daños como resultado de los malos manejos agrícolas (FAO, 2014). En la actualidad las estimaciones aportan que la agricultura contribuye con el 12% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, en estas se incluyen sectores como la energía que aporta el 67,3%, a industria 8,2%, cambio en el uso del suelo 6,3% y la transformación de desechos el 5,9% (Quintín *et al.* 2015).

Se considera que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo se producen pérdidas de COS (carbono orgánico del suelo) que se mide entre aproximadamente 30 y 50%, sin embargo, existen prácticas agronómicas que favorecen la captura de carbono en el suelo que incluye a la labranza de conservación y sistemas de manejo de suelos con alta capacidad de secuestrar C en el suelo, el carbono afecta una gran cantidad de propiedades como la sustentabilidad y capacidad productiva (Martínez *et al.* 2008)

Debido al aumento en las emisiones de carbono a la atmosfera y a los cambios abruptos del clima global, algunos países han mostrado atención la problemática presentada y realizan variados estudios en suelo con capacidad de retención y almacenamiento de carbono, además de evaluar los tipos de suelo, labranza, y manejo de residuos para mejorar las labores agropecuarias y reducir el daño al planeta (IPCC, 2006).

De acuerdo con lo anterior, la presente investigación tiene como finalidad comparar los cambios en las existencias de carbono en diferentes usos del suelo entre la metodología del IPCC y los generados en la zona, con la finalidad de observar los efectos negativos del cambio climático y así determinar la importancia de los manejos de uso de suelo que se realizan en cada una de las zonas evaluadas.

## **METODOLOGÍA.**

### **ÁREA DE ESTUDIO**

La investigación se realizó en el municipio de Villavicencio ubicado geográficamente entre las coordenadas Latitud: 4°08'31" N Longitud: 73°37'35" W

El clima en el municipio de Villavicencio es cálido-muy húmedo contando con un promedio de lluvia anual de 4383mm; en el año se presentan dos temporadas las cuales son de lluvia y seca, la temporada seca comprende desde diciembre hasta marzo y en estos meses llueve de 10 a 14 días al mes. De abril a noviembre se presenta la temporada de mayor lluvia, la frecuencia en días de acuerdo a estos meses oscila entre los 22 a 26 días.

La temperatura promedio es de 25.5 °C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 28 y 32°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 20 y 22 °C.

El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos de principios de año, la insolación es ligeramente mayor a 5 horas/día. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 67 y 83 %, siendo mayor en los meses de junio y julio y menor en el primer trimestre del año. (IDEAM, 2018)

## SELECCIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS POR ZONAS

La selección de sistemas productivos dentro de las zonas en las que se desarrolló la investigación (tabla 1), se ejecutó de acuerdo a la importancia económica y al área sembrada. Aunque se observaron otros sistemas menos representativos, que se vienen convirtiendo como opciones a los sistemas agropecuarios habituales.

Las zonas se dividieron en tres, las cuales contienen una gran variedad de sistemas productivos de vital importancia para la región (Tabla 1).

**Tabla 1. Ubicación de las zonas de muestreo de los sistemas productivos**

Zonas	Veredas donde se muestreo	Coordenada Geográfica
Z1	Vereda Puente Abadía.	Latitud norte: 4°10'42" 4°17'33" Longitud oeste: 73°36'24" 73°46'21"
Z2	Vereda Barcelona. Vereda Pompeya alto y bajo.	Latitud norte: 3° 56' 15" 4° 11' 5" Longitud oeste: 73° 10' 00" 73° 46' 00"
Z3	Vereda Indostán. Vereda el Porvenir.	Longitud Oeste: 73°13'55" 73°37'10" Latitud Norte 4°01'04" 4°10'00"

## METODOLOGÍA PARA ESTABLECER LOS VALORES POR DEFECTO PROPIOS DE LA ZONA DE PÉRDIDAS Y GANANCIA DE CARBONO EN DIFERENTES CULTIVOS.

El trabajo se realizará en tres zonas de Villavicencio, se identificaron 11 sistemas productivos diferentes, en cada zona se buscaron sistemas con dos tiempos de uso diferentes, posteriormente se realizó una caracterización de los sistemas productivos en cuanto a tipo de labranza y aporte de residuos; Para un total de 22 sistemas productivos que fueron identificados

## MUESTREO

Para la determinación de los stocks de Carbono inicial (Stock  $C_0$ ) del suelo se extrajeron muestras de suelo compuestas (obtenida de 3 puntos) en cada uno de los sistemas a 0.30 m de profundidad, profundidad de muestreo sugerida por (Eggleston H.s, 2006) y muestreos con cilindros, las muestras se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad de los Llanos para aplicar la determinación de la materia orgánica según la metodología de Walkley & Black.

## DETERMINACIÓN DE VARIABLES

Metodología para determinación de carbono orgánico (materia orgánica) según walkley-black

Se debe moler finamente en un mortero 5 g de muestra. Se toman 0,5 g de la muestra o 0,2 g de muestra de suelos con alto contenido de materia orgánica. En un Erlenmeyer de 250 ml, agregar 5 ml de dicromato de potasio 1N, añadir luego 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, se agita fuertemente por un minuto, se deja reaccionar media hora y enfriar a temperatura ambiente. Si se observa demasiado color verde en una muestra, entonces se debe añadir doble volumen de reactivos de dicromato y ácido sulfúrico. Una vez frío agregar 100 ml, de agua. Posteriormente se lleva a un blanco de reactivos. Se procede luego a valorar el exceso de dicromato con la solución ferrosa, agregando como indicador 5 gotas de ferroína o 30 gotas de di-fenilamina. El punto final se obtiene cuando aparezca un color rojizo o verde esmeralda, de acuerdo con el indicador empleado.

$$\% C = \frac{(B - M)N 0.003 (100 + P_w)}{PM}$$

*B=Volumen de solución ferrosa empleada en el blanco*

*M=Volumen de solución ferrosa empleada en la muestra*

*PM=Peso de la muestra*

*P<sub>w</sub>=Peso de humedad %*

*N=Normalidad de la solución ferrosa N=V/B*

*V=Volumen de solución de dicromato empleado en el blanco de reactivos*

. Metodología para la determinación del Stock de Carbono

$$\frac{\% M.O.}{1,724} = \%C$$

$$\%C * da * Prof. = Stock Co / Ha$$

El cálculo de stock  $C_{0-1}$  para la metodología del IPCC se calcula multiplicando el Stock  $C_0$  por los factores de cambio de existencias, Anexo B y C de (IPCC 2006), según el uso de la tierra ( $F_{LU}$ ), tipo de labranza ( $F_{MG}$ ) y entrada de residuos ( $F_i$ ), los cuales están proyectados a 20 años. En el caso del Stock  $C_{0-1}$  de los valores propios de la zona, se proyectarán también a 20 años, multiplicando los años faltantes por el valor de las tasa de perdida y ganancia de carbono por año, y adicionando a este valor el Stock  $C_0$ . La determinación de las tasas de pérdidas y ganancias de C del suelo (TpgC) se calcularon con la siguiente ecuación:

$$Tasa\ de\ \Delta C = \frac{Stock\ C\ final - Stock\ C\ inicial}{No.\ años}$$

Estimar los valores de CO<sub>2</sub> equivalentes con los valores por defecto propio de la zona en diferentes cultivos, como para los del IPCC. La determinación de las emisiones y/o absorciones se determinarán multiplicando las tasas de pérdidas y ganancias de C obtenidas por el factor de conversión de C-kgCO<sub>2</sub>eq propuesto por el IPCC (2006), el cual es 3,66.

Determinar si los valores por defecto del IPCC están sobrestimados o subestimados con relación a los valores propios de la zona.

Las tasas de pérdidas y ganancias de C (TpgC) del suelo siguiendo la metodología del IPCC se calcularon teniendo en cuenta los valores default o por defecto propuestos en los capítulos tierras de cultivo Capitulo 5 (Anexo B) y pastizales Capitulo 6 (Anexo C) (Eggleston H.s, 2006)

Los resultados de las tasas de pérdidas y ganancias de C, como de las emisiones y/o absorciones de CO<sub>2</sub> de los sistemas productivos aplicando la metodología del IPCC se comparan con los valores obtenidos de los datos de la zona, y se definen si están siendo sobrestimados y subestimados.

Realizar recomendaciones en el manejo del suelo que mejoren la retención de carbono

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en el desarrollo de los objetivos anteriores se aplicó un análisis de tipo multivariado de correlaciones, componentes principales y conglomerados mediante distancias euclidianas, empleando el software estadístico Infostat versión 2017, con el fin de identificar las variables que tienen mayor contribución en las emisiones y/o absorciones de CO<sub>2</sub> en el suelo, y agrupar sistemas emisores y/o retenedores de C del suelo.

De esta manera poder estimar en Villavicencio que sistema o tipo de manejo de suelo se pueden recomendar para contribuir a la mitigación del cambio climático.

## **DISEÑO EXPERIMENTAL**

---

<sup>1</sup>Jesus.alvarez@unillanos.edu.co

Se realizaron muestreos al azar en los diferentes sistemas de productivos, en diferentes zonas del municipio de Villavicencio donde en cada uno de ellos se tomaran muestras de suelo a 30 cm de profundidad, las cuales serán llevadas al laboratorio de suelos del área de microbiología de la Universidad de los Llanos. Los resultados obtenidos se analizaron en el programa estadístico de Infostat, por el método de análisis multivariado.

## **RESULTADOS.**

### **RELACIÓN A LAS PÉRDIDAS Y GANANCIA DE CARBONO EN DIFERENTES CULTIVOS Y LAS EMISIONES**

Los valores por defecto fueron mayores en los sistemas agroforestales de café y cacao, ya que están por encima de la unidad ( $>1$ ), indicando que en estos sistemas hay ganancias de C. Por su parte en los cultivos semestrales como el arroz, los valores por defecto están por debajo de la unidad ( $<1$ ), indicando pérdidas de C del suelo.

La Tabla 2 indica las variables relacionadas con los valores por defecto propios de la zona y su relación con las pérdidas y ganancias de carbono del suelo. Se logró estimar que los sistemas agroforestales de cacao y café, sistemas silvopastoriles y cítricos son los que mayormente acumulan C en el suelo, debido a que se vienen implementando labranza cero y alta incorporación de residuos. En estos sistemas se absorbe  $\text{CO}_2\text{eq}$  en el rango de -22.06 a -48.07 t  $\text{CO}_2\text{eq}/\text{ha}$ . A diferencia de cultivos semestrales de arroz y pasturas degradadas, como también monocultivos de plátano donde se viene dando labranza convencional que retienen menor cantidad de C del suelo y se dan pérdidas anuales de C en términos de  $\text{CO}_2\text{eq}$ .

En estos sistemas se emite  $\text{CO}_2\text{eq}$  a la atmosfera en el orden de 0.67 a 3.85 t $\text{CO}_2\text{eq}/\text{ha}$ .

#### **Tabla 2. Valores por defecto de la zona de estudio asociados a las emisiones de $\text{CO}_2\text{eq}$ .**

Leyenda de las variables evaluadas: Da=densidad aparente, MOS=materia orgánica del suelo, %C=Carbono total, StockC<sub>0</sub>=Stock C inicial, StockC<sub>0-1</sub>=Stock C final, TpgC=Tasa de ganancia y/o pérdida,  $\uparrow\downarrow\text{GEI}$  =emisiones y/o absorciones.

Sistema	Tiempo de uso (años)	ID	Da gcc <sup>-1</sup>	% M.O	COS%	Stock C <sub>0</sub> tCha <sup>-1</sup>	Stock C <sub>0-1</sub> tCha <sup>-1</sup> (20 años)	Valor por defecto (20 años)	TgpC tCha <sup>1</sup> año <sup>-1</sup>	↑↓GEI tCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> año <sup>1</sup>
Cacao	2	S1	1.54	2.1	1.22	76,66	204.2	2,66	6,37	-23,37
	4	S2	1.52	2.9	1.68	56,24	204.2	3,63	7,39	-27,12
Café	5	S3	1.23	2.3	1.33	49,2	232,8	4,73	9,18	-33,69
	4	S4	1.35	1.6	0.93	37,56	232,8	6,19	9,76	-35,82
Semestral Arroz-Maíz	29	S5	1.46	0.7	0.41	17,77	8,5	0,47	-0,46	1,68
	27	S6	1.39	0.7	0.41	16,92	8,5	0,50	-0,42	1,54
Cítrico	7	S7	1.47	2	1.16	51,13	95,33	5.59	11.7	-42,93
	1	S8	1.44	0.9	0.52	22,53	95,33	2.6	13.1	-48,07
Papaya	3	S9	1.36	1.1	0.64	26,01	86.2	3.31	3.00	-11,01
	1	S10	1.25	0.8	0.46	17,39	86.2	4.95	3.44	-12,62
Pastura	26	S11	1.48	0.7	0.41	20.81	5,09	0.24	-0.35	-1,28
	15	S12	1.71	0.7	0.41	18,01	5,09	0.28	-0.64	-1,79
Silvopastoril	8	S13	1.74	0.4	0.23	58.43	132,37	2.26	3,69	-13,56
	1	S14	1.6	2.1	1.22	12,10	132,37	0,93	6,01	-22,06
Semestral Arroz	25	S15	1.22	1.1	0.64	23,33	2.33	0.09	-1,05	3,85
	14	S16	1.51	0.8	0.46	21,00	2.33	0.11	-0.93	3,41
Cítrico	15	S17	1.4	2.3	1.33	56	43.28	0,77	-0,63	0,14
	6	S18	1.4	1.5	0.87	36,52	43.28	1,18	0,33	-1,24
Pasto	29	S19	1.45	0.4	0.23	16,06	9,2	0,57	-0.34	1,24
	16	S20	1.32	0.7	0.41	10,08	9,2	0,91	-0,044	0,67
Plátano	3	S21	1.59	1	0.58	27,65	5.2	0.18	-1.12	4,11
	1	S22	1.3	1.2	0.70	27,13	5.2	0.19	-1.09	4,00

## DETERMINAR SI LOS VALORES POR DEFECTO DEL IPCC ESTÁN SOBRESTIMADOS O SUBESTIMADOS CON RELACIÓN A LOS VALORES PROPIOS DE LA ZONA

La tabla 3 indica que el 50% de los valores por defecto del IPCC son sobreestimados y el otro 50% están subestimados, con respecto a los de la zona, estoy indicaría que se debe seguir evaluando el comportamiento de la materia orgánica del suelo (MOS) en estos sistemas bajo condiciones de clima y suelo propios de cada zona, para lograr establecer valores por defecto confiables, que permitan evaluar la degradación de la MOS en el tiempo.

**Tabla 3. Valores por defecto de los cambios en las existencias de C del suelo a 20 años según datos de la zona y del IPCC para regiones tropicales.**

Sistema	Tiempo de uso (años)	Valores por defecto		Comparación de los valores de IPCC con respecto a los datos de la zona
		Según proyecciones del IPCC para regiones tropicales (Anexo B, C).	Según datos obtenidos en la zona	
Agroforestal con cacao	2	1.35	2.66	Subestimado
	4	1.36	3.63	Subestimado
Agroforestal con café	5	1.35	4.73	Subestimado
	4	1.36	6.19	Subestimado
Rotación arroz-maíz	29	0.5	0.47	Sobrestimado
	27	0.55	0.50	Subestimado
Cultivo de cítricos	7	1.12	5.59	Subestimado
	1	1.22	2.6	Subestimado
cultivo de papaya	3	1.21	3.31	Subestimado
	1	1.22	4.95	Subestimado
cultivo de pastos	26	0.99	0.24	Sobrestimado
	15	1.28	0.28	Sobrestimado
Silvopastoriles	1	1.17	2.26	Subestimado

	8	1.29	0.93	Sobrestimado
Cultivo de arroz	14	0.55	0.09	Sobrestimado
	25	0.44	0.11	Sobrestimado
Cultivo cítricos	6	1.12	0.77	Sobrestimado
	10	1.12	1.18	Subestimado
Cultivo de pastos	16	0.96	0.57	Sobrestimado
	29	0.97	0.91	Sobrestimado
Cultivo de plátano	1	0.92	0.18	Sobrestimado
	3	1.15	0.19	Sobrestimado

# Sobreestimado=11, # subestimado=1

1

### 2 7.3. ANÁLISIS MULTIVARIADO PARA DATOS DEL IPCC

#### 3 7.3.1. Cambios en las existencias de C del suelo según el IPCC

4 Para el análisis multivariado se tuvieron en cuenta los datos del anexo D.

##### 5 7.3.1.1 Matriz de correlaciones entre variables

6

7 Llevando a cabo las proyecciones del IPCC, en los sistemas agrícolas de  
 8 Villavicencio, tanto en las propiedades físicas determinadas en campo, como en las  
 9 simulaciones realizadas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq), y las tasas de  
 10 pérdidas y/o ganancias de C del suelo (TpgC) se observó una alta correlación  
 11 negativamente (r=-1.0) en cambio, la materia orgánica del suelo (MOS) reflejo  
 12 correlación positiva con el COS(r=1.0), con los stock de C inicial y final (r=0.99;  
 13 r=0.96) además de las tasas de pérdidas y/o ganancias de C del suelo (Tpgc)  
 14 (r=0.76), a su vez el carbono orgánico del suelo (COS) mostro una alta correlación  
 15 con los stock de carbono inicial y final (r=0.99; 0.96) y con las tasas de perdida y  
 16 ganancia de C (r=0.79), además el COS presento una correlación negativa con el  
 17 dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq) (r=-0.79) y por último la densidad aparente  
 18 del suelo (DA) se correlaciono positivamente con la resistencia a la penetración  
 19 (RP), (r=0.99) (Tabla 4).

20 **Tabla 4. Correlaciones entre las variables analizadas en sistemas productivos de**  
 21 **Villavicencio según la metodología de IPCC.**

	<u>%MO</u>	<u>COS</u>	<u>DA</u>	<u>RP</u>	<u>STOCK INICIAL</u>	<u>STOCK FINAL</u>	<u>Tasa perdida</u>
<u>COS EQUIVALENTE</u>							
<u>%MOS</u>	<u>1,00</u>						
<u>COS</u>	<u>1,00</u>	<u>1,00</u>					
<u>DA</u>	<u>-0,10</u>	<u>-0,10</u>	<u>1,00</u>				
<u>RP</u>	<u>-0,05</u>	<u>-0,05</u>	<u>0,99</u>	<u>1,00</u>			
<u>Stock Ci</u>	<u>0,99</u>	<u>0,99</u>	<u>0,05</u>	<u>0,10</u>	<u>1,00</u>		
<u>Stock Cf</u>	<u>0,96</u>	<u>0,96</u>	<u>0,06</u>	<u>0,11</u>	<u>0,98</u>	<u>1,00</u>	
<u>TASA PERDIDA</u>	<u>0,79</u>	<u>0,79</u>	<u>0,09</u>	<u>0,12</u>	<u>0,81</u>	<u>0,92</u>	<u>1,00</u>
<u>CO2eq</u>	<u>-0,79</u>	<u>-0,79</u>	<u>-0,09</u>	<u>-0,12</u>	<u>-0,81</u>	<u>-0,92</u>	<u>-1,00</u>

22 Leyenda de las variables evaluadas: %MOS= Materia orgánica del suelo, COS= Carbono total, Da= Densidad aparente,  
 23 Rp= Resistencia a la penetración, StockCi= Stock C inicial, StockCf= Stock C final, TPGC= Tasa de ganancia y/o  
 24 pérdida, CO2eq=. Dióxido de carbón equivalente

25

##### 26 7.3.1.2 análisis de componentes principales (acp) para cambios en las existencias 27 de c según el ipcc

28

29 De acuerdo al análisis de componentes principales (ACP), como se muestra en la  
 30 tabla 4, las variables evaluadas en los diferente sistemas de producción en el  
 31 municipio de Villavicencio – Meta, Colombia. Se explica en los dos primeros  
 32 componentes principales (CPs) los cuales logran explicar el 94% de la variabilidad

<sup>1</sup>Jesus.alvarez@unillanos.edu.co

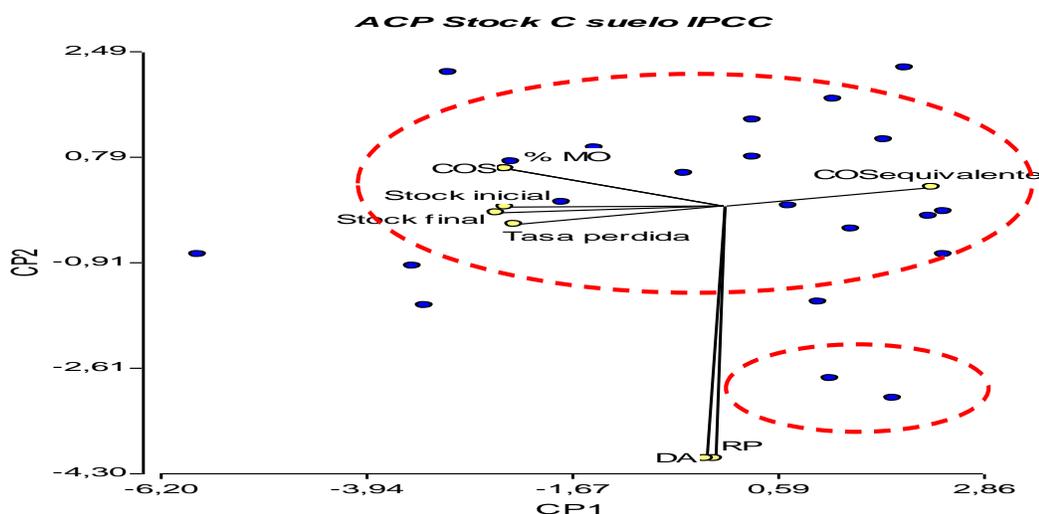
33 total de los datos, el CP1 explica el 69% de la variabilidad total, y el CP2 explica el  
 34 25% de la variabilidad total, los cuales se ven reflejados en la (Tabla 5) confirmando  
 35 lo explicado.

36 **Tabla 5. Autovalores en la confirmación de los Componentes principales (CPs) para cambios**  
 37 **en las existencias de C según metodología del IPCC**

Lambda	Valor	Proporción	Prop.	Acum
1	5,50	0,69		0,69
2	2,03	0,25		0,94
3	0,45	0,06		1,00
4	0,01	9,9E-04		1,00
5	0,01	7,5E-04		1,00
6	1,4E-06	1,7E-07		1,00
7	9,9E-07	1,2E-07		1,00
8	8,5E-09	1,1E-09		1,00

38

39 En el análisis de CPs, se determinó que el histograma de valores propios se basa  
 40 en dos planos factoriales, logrando explicar el 94 % de la información (figura 1). Las  
 41 variables que aportaron negativamente a la formación del CP1 (tabla 5) las cuales  
 42 se ordenaron así: el Stock final ( $r=-1.0$ ), la MOS( $r=-0.96$ ), COS( $r=-0.96$ ) y las tasas  
 43 de perdidas y/o ganancias ( $r=-0,92$ ); entre tanto la que apporto de forma positiva con  
 44 el CP1, fue ( $CO_2eq$ ) ( $r=0.92$ ) como puede determinarse en la Figura 1. Entonces,  
 45 el Stock C final es la variable con mayor peso al igual que el COS en la conformación  
 46 del CP1, éste grupo está más relacionado con las “propiedades químicas del suelo”,  
 47 pero al igual que con datos de la zona al componente orgánico del suelo, esto  
 48 indicaría que las tasas de ganancias y pérdidas de C están asociadas con los  
 49 factores de manejo de los suelos (uso del suelo, tipo de labranza, nivel de residuos).



50

51 **Figura 1. Contribución de las variables en los primeros dos componentes principales**

52 En el CP2 la densidad aparente (DA) ( $r=-1.0$ ) y la resistencia a la penetración (RP)  
 53 ( $r=-0.99$ ) tuvieron una gran influencia negativa con relación a las demás variables,  
 54 por lo que se pudo denominar a la conformación las “propiedades físicas del suelo”,  
 55 como se observa en la figura 1. Además estos aportes se deben a las variables en  
 56 los CP1 y CP2 se observa en la tabla 6.

57 **Tabla 6. Correlaciones de los CPs con las variables originales según datos del IPCC**

Variable	CP1	CP2
%MO	<b>-0,96</b>	0,15
COS	<b>-0.96</b>	0,15
DA	-0.04	<b>-1,00</b>
RP	-0,08	<b>-0,99</b>
Stock Inicial	-0,97 – 1,	3E-03
Stock Final	<b>-1,00</b>	-0.03
Tasas de pérdida	<b>-0,92</b>	-0,07
CO2 equivalente	<b>0,92</b>	0,07
Correlación frenética : 0,992		

58 **Legenda de las variables evaluadas: %MOS= Materia orgánica del suelo, COS= Carbono total,**  
 59 **Da= Densidad aparente, Rp= Resistencia a la penetración, StockCi= Stock C inicial, StockCf=**  
 60 **Stock C final, TPGC= Tasa de ganancia y/o pérdida, CO2 equi= Dióxido de carbono equivalente**

### 61 7.3.1.3 Análisis de conformación de clúster

62  
 63 Debido a las características similares encontradas entre los sistemas evaluados y  
 64 de acuerdo a las variables evaluadas aplicando la metodología del IPCC se pudo  
 65 verificar según el Dendograma de la figura 2, que se organizaron 4 grupos: en el  
 66 cual el primero se incluyeron los sistemas que fueron explicados, estimados como  
 67 grandes retenedores de carbono en el suelo, debido a que actúan como sumideros  
 68 y por sus características agroforestales. Como los sistemas (Cacao) Cc\_4 años de  
 69 la zona 1, (Silvopastoriles) Sp\_8 años de la zona 2 y (Cacao) Cc\_2 años de la zona  
 70 1.

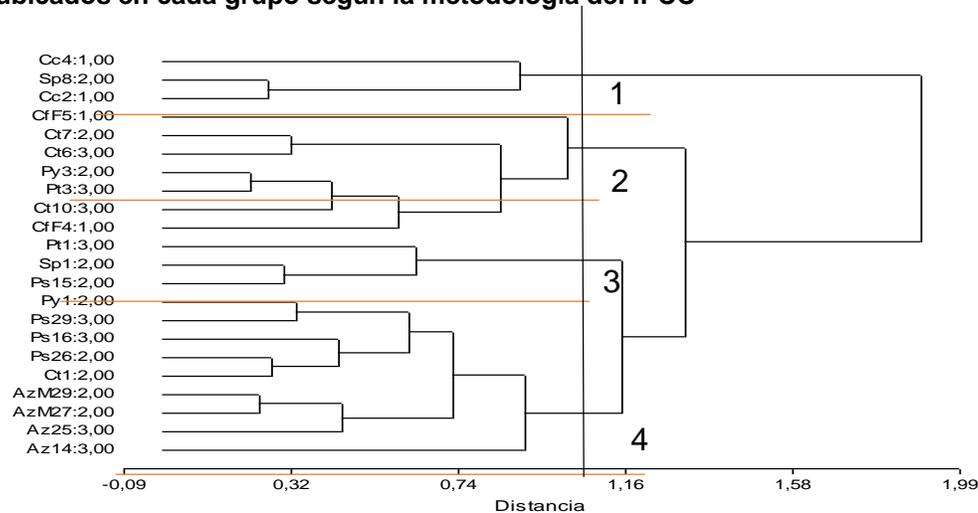
71 El segundo clúster quedo conformado por los siguientes sistemas de producción:  
 72 (Café) CfF\_5 y 4 años de la zona 1, (Cítrico) Ct\_7, 6 y 10 años de las zonas 2 y 3,  
 73 (Papaya) Py\_3 años de la zona 2, (Plátano) Pt\_3 años de la zona 3, los cuales son  
 74 considerados como moderadamente altos retenedores de carbono.

75 En el tercer clúster quedo conformado por los siguientes sistemas de producción,  
 76 (Plátano) Pt\_1 año de la zona 3, (Silvopastoriles) Sp\_1 año en la zona 2 y Ps\_ 15  
 77 años en la zona 2. Estos se denominaron como retenedores de carbono  
 78 moderadamente bajo.

79 El cuarto y último clúster quedo conformado por los siguientes sistemas de  
 80 producción como Py\_1 año de la zona 2, Ps\_ 29 años de la zona 3, Ps\_16 años de  
 81 la zona 3, Ps\_ 26 años de la zona 2, (Cítrico) Ct\_ 1 año de la zona 2, (Arroz-Maíz)  
 82 AZ-M\_ 29 años de la zona 2, (Arroz-Maíz) AZ-M\_ 27 años de la zona 2, (Arroz) Az\_

83 25 años de la zona 3, ( Arroz) Az\_14 años de la zona 3, siendo estos los que menos  
84 retienen carbono en el suelo y actúan como emisores de carbono (Figura 2).

85 **Figura 2. Dendograma distribución de clúster y los sistemas de producción de Villavicencio**  
86 **ubicados en cada grupo según la metodología del IPCC**



87

88 Cc2,z1: Cacao 2 años, zona 1; Cc4,z1: Cacao 4 años, zona 1; CfF5,zi: Café 5 años, zona 1; AzM29,z2: Arroz – Maíz 29 años,  
89 zona 2; AzM27,z2: Arroz – Maíz 27 años, zona 2; Ct7,z2: Cítricos 7 años, zona 2; Ct1,z2: cítricos 1 año, zona 2; Py3,z2:  
90 Papaya 3 años, zona 2; Py1,z2: Papaya 1 año, zona 2; Ps26,z2: pastos 26 años, zona 2; Ps15,z2: pastos 15 años, zona 2;  
91 Sp1,z2: Sistemas silvopastoril 15 años, zona 2; Sp8,z2: Sistemas silvopastoril 8 años, zona 2; Az14,z3: Arroz 14 años, zona  
92 3; Az25,z3: Arroz 25 años, zona 3; Ct6,z3: Cítricos 6 años, zona 3; Ct10,z3: Cítricos 10 años, zona 3, Ps16,z3; Sistemas  
93 silvopastoril 16 años, zona 3; Ps29 ,z3: Sistemas silvopastoril 29 años, zona 3; Pt1,z3: Plátano 1 año, zona 3; Pt3,z3: Plátano  
94 3 años, zona 3.

## 95 **DISCUSIÓN.**

96

97 Con los resultados obtenidos en el trabajo de investigación nos muestra que la MO  
98 del suelo está altamente correlacionada con el COS, stock de carbono inicial, final  
99 y tasas de perdidas lo que nos indica ganancias de carbono teniendo en cuenta que  
100 puede ser directamente o inversamente proporcional a las emisiones y/o  
101 absorciones de carbono a la atmosfera. Estas correlaciones concuerdan con  
102 (Navarrete, Vela, Lopez, & Gamiño, 2011) donde mencionan que la materia  
103 orgánica del suelo y el contenido orgánico del carbono junto con las propiedades  
104 biológicas, químicas y físicas del suelo están fuertemente correlacionadas. Además  
105 (Lal, 2004) menciona que el suelo puede actuar como fuente o reservorio de  
106 carbono dependiendo del uso y manejo y del suelo.

107 La DA está altamente correlacionada con la RP debido a que son propiedades  
108 físicas del suelo y algo muy importante a tener cuenta es el manejo físico de este,  
109 según (Martínez *et al.*, 2008) menciona que los niveles orgánicos del suelo tienden  
110 a disminuir la densidad aparente del suelo (DAS) y la resistencia a la compactación.  
111 En los sistemas productivos como silvopastoriles presentan menor resistencia a la  
112 penetración debido a que es un sistema asociativo donde encontramos forestales,  
113 pastos y ganado, donde el contenido de la MOS en estos sistemas puede ser alta

114 lo cual tiende a disminuir la resistencia a la penetración, a diferencia de las pasturas  
115 degradadas donde se da compactación por el sobrepastoreo de los animales.

116

117 El análisis de componentes principales estuvo organizado en dos grupos,  
118 observados en el histograma (figura 1), basados en los CPs 1 y 2; se determinó  
119 que en la CP1 las variables que están altamente correlacionadas negativamente  
120 (MO, COS, Stock final e inicial) están ligadas al factor “propiedades químicas del  
121 suelo” las cuales son variables con características dependientes del carbono del  
122 suelo, explicando la conformación de los sistemas del primer clúster en el  
123 dendograma de la Figura 2, además en la CP2 las variables DA Y RP están  
124 correlacionadas llevando a la conformación del segundo grupo “propiedades físicas  
125 del suelo” ya que estas están relacionadas a las características físicas en las cuales  
126 se encuentre el suelo, siendo que son variables indicadoras de compactación de los  
127 suelos.

128 Teniendo en cuenta el dendograma (Figura 2), los sistemas que se establecen en  
129 este primer clúster, los definimos como los de mayor retención de C en el suelo, el  
130 cultivo de cacao en agroforestal y el sistema de silvopastoriles conforman este  
131 primer grupo, estos dos sistemas se complementan por asociación de árboles,  
132 pasturas, cultivos, para así conformarse en sistemas que absorben CO<sub>2</sub>eq de la  
133 atmosfera.

134 Los sistemas agroforestales en la zona tropical, son observados ya que presenta un  
135 potencial como reserva de C, el CO<sub>2</sub> retirado de la atmosfera es almacenado como  
136 biomasa viva (Aryal *et al.*, 2014) y se presentan como una alternativa de mitigación  
137 de GEI importante en la región, como resultado del aporte de gran cantidad de  
138 hojarasca o MO muerta de la vegetación,

139 Arévalo *et al.*, (2017) mencionan que este cultivo debe estar asociado a un sistema  
140 llamado sombrío, ya que los según los requerimientos del cultivo exigen un  
141 contenido de luminosidad adecuado, lo cual ira ligado a su producción, esto aportara  
142 rendimientos óptimos, este cultivo genera una capa de hojarasca bastante  
143 abundante en el suelo, gracias a su abundante contenido de hojas presentes en las  
144 plantas y ligado a su sistema de sombrío y labores culturales como fertilización y  
145 diferentes podas, que permite un ambiente optimo en el desarrollo de esta hojarasca  
146 mejorando directamente la actividad microbiana y esto conlleva a una alta retención  
147 de carbono orgánico, mayor reciclaje de nutrientes, que está directamente ligada  
148 con él % de materia orgánica presente en estos sistemas de cultivos asociados con  
149 necesidad de sombrío y perennes.

150 Por otro lado, los sistemas silvopastoriles se presentan como un gran retenedor de  
151 carbono junto a los sistemas agroforestales. Se estima que la silvopastura generan  
152 una mayor reserva de C en el suelo, Además que el cambio de pastizales a sistemas  
153 de silvopastura influye en el secuestro de carbono (Feliciano *et al.*, 2017). La  
154 incorporación de árboles y arbustos en los sistemas de producción ganadera como  
155 sistemas silvopastoriles representa una alternativa viable que actúa a las  
156 necesidades actuales relacionadas con la demanda alimenticia, la preservación del

157 medio ambiente y las realidades socioeconómicas de países tropicales (Murgueitio  
158 *et al.*, 2011).

159 Además, los sistemas silvopastoriles están conformados por pastos, árboles y  
160 ganadería, a pesar de ser un sistema perenne tiene presente un factor importante  
161 llamado ganadería, teniendo en cuenta que aporta estiércol que en su  
162 descomposición con la actividad microbiana del suelo se convertirá en materia  
163 orgánica, pero esta actividad por el sobrepastoreo puede generar una compactación  
164 de los suelos constante lo que disminuye la retención del carbono orgánico, así esté  
165 ligado con los pastos o el sistema de árboles que brindan al suelo las características  
166 óptimas de generar una alta retención del carbono orgánico en el suelo. Uribe *et al.*,  
167 (2011), este sistema es óptimo en la retención del COS a pesar del componente de  
168 la “ganadería” o la ocupación de animales, teniendo en cuenta que no se utiliza un  
169 uso de maquinaria constante por ser este un sistema perenne (pasturas  
170 permanentes).

171 En los sistemas de monocultivo existe una pérdida directa en el contenido de COS  
172 ya que el suelo presenta una exposición alta debido a la labranza convencional, lo  
173 que conlleva a cambios en estos suelos, es por ello que los cultivos que utilizan  
174 menor necesidad de la maquinaria en su establecimiento o mantenimiento son  
175 aquellos donde más se presentan los contenidos de COS disminuyendo así el GEI

176 De acuerdo a lo anterior, se debe tener en cuenta los años de establecimiento de  
177 los sistemas, cuanto más tiempo dura establecido el sistema aporta un contenido  
178 óptimo de COS, por consiguiente los sistemas perennes son los que ayudan a  
179 mitigar el GEI (IPCC, 2006), ligado con óptimas labores que ayudan en la  
180 conservación de los suelos y no compactación de estos mismos en los primeros 30  
181 cm del suelo que es donde está la principal formación de los sistemas radiculares  
182 de los cultivos.

183 En el segundo clúster se muestran 4 sistemas de cultivos diferentes donde se puede  
184 decir que también son buenos retenedores de COS, lo cual se va definiendo según  
185 su tiempo de uso (IPCC, 2006), ya que entre más tiempo en estar este cultivo  
186 establecido mejora las condiciones del suelo por su aporte en la protección del  
187 suelo, lo que sigue confirmando que estos cultivos a pesar de ser semiperennes en  
188 caso del plátano, papaya aportan importantes contenidos del carbono orgánico, en  
189 comparación a los sistemas de café y cacao, con diferencias en su retención del  
190 COS mayor.

191 Los cítricos evaluados son muy importantes, ya que al estar asociados con un  
192 sistema de pasto forrajero en el suelo como maní forrajero aporta nitrógeno y se  
193 mejora la MOS, contribuyendo en cuanto a la mitigación de la emisión de GEI y así  
194 aumenta el contenido de COS.(Norato & Nieto, 1984), (Alvarado *et al.*,2013), los  
195 cultivos como café y papaya son cultivos los cuales tienen un uso de suelo  
196 superiores a 6 años lo cual ayuda a la formación del suelo y así mejorar sus  
197 condiciones físicas y químicas de acuerdo a su manejo, en el mismo caso de la

198 papaya con un uso de suelo mayor de diez años y también se pueden mencionar a  
199 los sistemas de plátano y cítricos, que con manejos adecuados de suelo retienen C.

200 En el tercer clúster a pesar de agrupar cultivos medianamente retenedores como  
201 plátano y silvopastoriles, se confirma que a pesar de ser cultivos con una buena  
202 retención de COS el tiempo de uso del suelo es más bajo.

203 En el cuarto clúster, se ve muy marcada la diferencia de los sistemas perennes y  
204 semiperennes en cuanto a los cultivos semestrales como lo son el arroz y maíz  
205 teniendo en cuenta que son sistemas los cuales estas expuestos a periodos muy  
206 cortos en cuanto a su establecimiento y existe reducción del COS, lo que conlleva  
207 a una mayor exposición de la MOS por la labranza, modificándose las propiedades  
208 físicas de los suelos. Se deberá implementar la labranza mínima para la  
209 conservación de los suelos (IPCC, 2006) y baja implementación de productos  
210 químicos.

211 Además (Fujisaki *et al.* 2018), encontraron que existe un gran potencial de  
212 reservorio de C a partir de tierra dedicadas a la implementación de cultivos  
213 agrícolas, sin embargo la mejora de los manejos de suelos cultivados  
214 (monocultivos), no fueron aceptables para que los suelos establecieran la línea de  
215 saturación de COS.

216 La conservación de los suelos y el aumento en los contenidos de COS, la cual va  
217 ligada a las labores agrícolas y materia orgánica en los suelos como se plasma en  
218 el artículo Martínez *et al.* (2008), donde menciona que de acuerdo al contenido de  
219 COS se muestra la disponibilidad de los nutrientes en estos suelo, baja la acidez de  
220 los suelos y esto conlleva a una solubilidad notable de los nutrientes esenciales,  
221 para el cultivo, donde también menciona la importancia de las labores agrícolas  
222 como la labranza de conservación definida así como la labranza mínima.

### 223 **CAMBIOS EN LAS EXISTENCIAS DE C DEL SUELO SEGÚN DATOS DE LA** 224 **ZONA VS IPCC. DETERMINACIÓN DE SUBESTIMADOS O SOBRESTIMADOS** 225 **DE LOS DIVERSOS SISTEMAS PRODUCTIVOS.**

226 La finalidad del trabajo investigativo es definir si los valores por defecto del IPCC  
227 presentan subestimación o sobreestimación en sus cambios de existencias de C  
228 con respecto a los de la zona, por ende en la (tabla 6) se compararon los valores  
229 por defecto de los cambios en las existencias de C del suelo a 20 años, del IPCC  
230 con los obtenidos en la zona, pudiéndose establecer que los valores del IPCC  
231 subestimaron en el caso de los sistemas: Cc2,z1: Cacao 2 años, zona 1; Cc4,z1:  
232 Cacao 4 años, zona 1; CfF5,zi: Café 5 años, zona 1; AzM29,z2: Arroz – Maíz 29  
233 años, zona 2; AzM27,z2: Arroz – Maíz 27 años, zona 2; Ct7,z2: Cítricos 7 años,  
234 Sp1,z2: Sistemas silvopastoriles 15 años, zona 2; Sp8,z2: Sistemas silvopastoriles  
235 8 años, , zona 3; Ct6,z3: Cítricos 6 años, zona 3; Ct10,z3: Cítricos 10 años, zona 3,  
236 Ps16,z3; Sistemas silvopastoriles 16 años, zona 3; Ps29 ,z3: Sistemas  
237 silvopastoriles 29 años. y se sobrestimaron en el caso de los sistemas: zona 2;  
238 Ct1,z2: cítricos 1 año, zona 2; Py3,z2: Papaya 3 años, zona 2; Py1,z2: Papaya 1  
239 año, zona 2; Ps26,z2: pastos 26 años, zona 2; Ps15,z2: pastos 15 años, zona 2;

240 zona 2; Az14,z3: Arroz 14 años, zona 3; Az25,z3: Arroz 25 años, zona 3; Pt1,z3:  
241 Plátano 1 año, zona 3; Pt3,z3: Plátano 3 años, zona 3.

242 Se puede afirmar que el 50% de los sistemas evaluados se subestimaron, indicando  
243 que los datos obtenidos en la zona fueron mayores a los resultados obtenidos por  
244 la metodología del IPCC, posiblemente bajo las condiciones edafoclimáticas de la  
245 zona de Puente Abadía la MOS es mayor que en las zonas 2 y 3.

246 En los sistemas agroforestales en comparación a los sistemas semestrales llevado  
247 a un estimado de 20 años, para determinar la emisión o la retención del COS, se  
248 obtuvo un mayor estimado, debido a que este tipo de sistemas aportan a la  
249 acumulación del COS y así la disminución de la emisión del GEI (IPCC, 2006). En  
250 concordancia con los resultados obtenidos por (Orozco & Silva, 2018) donde  
251 mencionan la importancia de este tipo de sistemas y muestran una mayor retención  
252 de C del suelo en estos sistemas en una proyección a 20 años.

## 253 **RECOMENDACIONES.**

254 Según los resultados establecidos en este trabajo, se logró deducir que todo sistema  
255 en el cual se encuentra asociado a otro cultivo (sistema agroforestal), aporta una  
256 gran cantidad de materia orgánica al suelo, mejorándose la actividad de la  
257 microbiología del suelo, aumentando favorablemente la descomposición de los  
258 residuos presentes en el suelo y crea así una capa que favorece las condiciones  
259 donde se presenta mayor disponibilidad del carbono orgánico del suelo y disminuir  
260 así la exposición de los diferentes suelos a la oxidación más rápida de la MOS  
261 coincidiendo con (Robert M., 2002), quien menciona que el contenido de materia  
262 orgánica se encuentra directamente ligada al proceso de degradación por procesos  
263 de mecanización y hacen que las características benéficas del suelo (agregación)  
264 se pierdan.

265 Además de estas características los sistemas agroforestales representan una  
266 alternativa viable de sustentabilidad y económica para la región en la cual se basa  
267 la ganadería, con el establecimiento de pasturas mejoradas y cultivos adecuados  
268 y/o árboles, que incluyen prácticas amigables para el medio ambiente.

269 Los cultivos semestrales en el municipio de Villavicencio, son los que presentaron  
270 menor contenido de COS, es por ello que se deben revisar los manejos dados a  
271 estos sistemas y buscar alternativas en su establecimiento como los diferentes  
272 equipos de adecuación y siembra, y buscar alternativas de conservación tales como  
273 la incorporación de los residuos de cosecha o rotación de cultivos, tales como arroz-  
274 soja y así mitigar la pérdida de C de los suelos y la emisiones de dióxido de carbono  
275 para reducir asociadamente las cantidades de GEI a la atmosfera, que afectan el  
276 cambio climático global.

277 Replicar este tipo de investigaciones en otras zonas de Villavicencio, para definir  
278 valores por defecto propio de la región, relacionado con variables de suelo y clima,  
279 que definan tasas de pérdidas y ganancias de C de los sistemas productivos de  
280 Villavicencio, las más reales posibles a las condiciones locales.

281

282 **CONCLUSIONES.**

283 En los análisis de los datos de las variables estudiadas que explicaron el  
284 comportamiento de la variabilidad encontrada en los diferentes sistemas con valores  
285 propios de la zona, se basan en dos planos factoriales que explican el 69 % de la  
286 información del CP1, entendiéndose que las tasas de pérdidas y ganancias de C  
287 del suelo y las emisiones y/o absorciones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera están asociadas al  
288 componente orgánico del suelo y su relación con el manejo de los sistemas.

289 En la contribución de las variables en los componentes principales, tanto con la  
290 metodología del IPCC como con datos de la zona, se divide en dos grupos como se  
291 observa en el histograma, donde la MOS esta correlacionada con el COS, Stock C<sub>1-</sub>  
292 0, y de manera inversa con las emisiones y en el segundo grupo está compuesta  
293 por propiedades físicas del suelo las cuales son DA la cual esta correlacionada con  
294 el RP.

295 De acuerdo a los datos del IPCC comparados con los datos de la zona de estudio,  
296 de los 22 sistemas productivos, 11 son subestimados y 11 son sobreestimados a 20  
297 años.

298 Los sistemas que presentan una buena retención de COS son los sistemas  
299 agroforestales, silvopastoriles o los cultivos que se encuentran asociados, a  
300 diferencia de los sistemas en monocultivo o semestrales como arroz, maíz que son  
301 los que más emiten CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

302 Los manejos actuales que se le están dando a los suelos de Villavicencio, están  
303 asociados a las pérdidas y/o ganancias de C del suelo y a los sistemas que se  
304 cultivan, para así tomar alternativas como conservación de los suelos en las labores  
305 agrícolas y sistemas a sembrar, las cuales ayuden a mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>  
306 atmosférico y aumentar las retenciones de carbono mejorando satisfactoriamente el  
307 ambiente y la cultura en la conservación de los suelos en general.

308 **BIBLIOGRAFÍA**

309 Aguayo, M.; Pauchard, A.; Azocar G.; Parra, O. 2009. Cambio del uso del suelo en  
310 el centro sur de Chile a fines del siglo XX, entendiendo la dinámica espacial y  
311 temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 361-374

312 Arevalo M., González D., 2017; Maroto S., Delgado T., & Paola MontoyaP., Manual  
313 técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas / Instituto Interamericano de  
314 Cooperación para la Agricultura; San José, C.R.: IICA, 165 p.

315 Aryal, D. R.; Jong, B. H. J. De.; Ochoa-Gaona, S.; Esparza-Olguin, L.; Mendoza-  
316 Vega, J. 2014. Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern  
317 México. *Agriculture, Ecosystems e Environment*, 195, 220–230.

- 318 Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al  
319 cambio climático. *Rev. Cienc. Agr.* 35(1): 82-96. doi:  
320 <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.
- 321 E. N. Honorio Coronado T. R. Baker. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del  
322 carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia  
323 Peruana / Universidad de Leeds. Lima, 54 p.
- 324 FAO. 2017. Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. Organización de las  
325 Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia
- 326 FAO. 2008. Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Zaragoza,  
327 España.
- 328 Feliciano, D.; Ledo, A.; Hillier, J.; Nayak, D. R. 2017. Which agroforestry options give  
329 the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions  
330 *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 254: 117-129.  
331 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032>
- 332 Fujisaki, K.; Chapuis-Lardy, L.; Albrecht, A.; Razafimbelo, T.; Chotte, J.L.;  
333 Chevallier, T. 2018. Data synthesis of carbon distribution in particle size fractions of  
334 tropical soils: Implications for soil carbon storage potential in croplands. *Geoderma*  
335 313: 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.010>
- 336 Hernández, R.; Lopez, D. 2002. El tipo de labranza como agente modificador de la  
337 materia organica: Un modelo para los suelos de sabana de los llanos centrales  
338 Venezolanos. *Interciencia*, 27(10),529-53
- 339 INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. 2006.  
340 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: EGGLESTON, H.S.;  
341 BUENDIA; H. S; MIWA, L; NGARA, K; TANABE, K. (Ed.). *Agriculture, Forestry and*  
342 *Other Land Use.* Hayama: National Greenhouse Gas Inventories Programme.  
343 Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 595 p.
- 344 INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. 2007. In:  
345 SOLOMON, S. (Ed.). *Climate Change: The physical science basis, contribution of*  
346 *working group I to the fourth assessment report of the IPCC.* Cambridge: Cambridge  
347 University Press, 2007. 996 p.
- 348 INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-  
349 IDEAM 2018. Geoportal características climáticas departamento del Meta:  
350 <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- 351 LAL, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and  
352 Food Security. *Science.* v. 304 (5677): 1623-1627.
- 353 Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change. *Geoderma*,  
354 Amsterdam, 123: 1-22.
- 355 LAL, R., FOLLETT, R. F. STEWART, B. A. KIMBLE, J. M. 2007. Soil carbon

- 356 sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Science*,  
357 v.172 (12): 943-956.
- 358 MAIA, S.M.F., OGLE, S.M., CERRI, C.E.P., & CERRI, C.C. 2009. Effect of grassland  
359 management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states,  
360 Brazil. *Geoderma*, 149, 84-91
- 361 Martínez, E.; Fuentes, J. P.; Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del  
362 suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*
- 363 Murgueitio, E.; Calle, Z.; Uribe, F.; Calle, A. & Solorio, B. 2011. Native trees and  
364 shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest  
365 Ecology and Management*. 10: 1654-1663.
- 366 Navarrete S, A.; Vela C, G.; López B, J.; y Rodríguez G, M de L. 2011. Naturaleza  
367 y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *Revista Contactos*. 80:29-37.
- 368 Norato, J.; Nieto, E.; 1984; Análisis de la producción y distribución de la papaya carica  
369 papaya proveniente de la zona de lejanías departamento del meta; Universidad  
370 tecnológica de los llanos orientales facultad de ingeniería agronómica;  
371 Villavicencio. 168p.
- 372 ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA  
373 AGRICULTURA. Aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero de la  
374 agricultura. Roma 2014
- 375 Orozco, D.; 2018 Evaluación de tasas de pérdidas y ganancias de C asociadas a las  
376 emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> en sistemas productivos del Ariari
- 377 Pardos, J. 2010 Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el  
378 calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y  
379 Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación, Madrid
- 380 Quintín, C.; Montoya, J.; Paz, I. 2015. Liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por  
381 actividad rizosférica de diferentes cultivos en zona cafetera del departamento del  
382 Cauca. *Rev. Cienc. Agr.* 32(2):68 - 76.
- 383 Ramos, M. C.; Cots-Folch, R.; Martínez-Casanovas, J. A. 2007. Effects of land  
384 terracing on soil properties in the Priorat region in Northeastern Spain: A multivariate  
385 analysis. *Geoderma*. 142: 251 - 261.
- 386 Robert, M.; 2002 Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra  
387 ; FAO 2002, Roma, 4-8
- 388 SANDOVAL, M., & STOLPE, N., & ZAGAL VENEGAS, E., & MARDONES FLORES,  
389 M., & JUNOD MONTANO, J. (2003). El secuestro de carbono en la agricultura y su  
390 importancia con el calentamiento global. The carbono sequestration in agriculture  
391 and its importance in global warming. *Theoria* 12(1), 65-71.

392 SIX, J.; OGLE, S. M.; BREIDT, F. J.; CONANT, R. T.; MOSIERS, A. R.; PAUSTIAN,  
393 K. 2004. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only  
394 realized when practiced in the long term. *Global Change Biology*, 10:155-160.

395 Uribe F., Zuluaga A.F., Valencia L., Murgueitio E., Zapata A., Solarte L., et al.  
396 Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto  
397 Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV,  
398 FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 7

399 **LISTA DE TABLAS**

400 **Tabla 1.** Ubicación de las zonas de muestreo de los sistemas productivos ..... 5  
401 **Tabla 2.** Valores por defecto de la zona de estudio asociados a las emisiones de CO<sub>2</sub>eq. 8  
402 **Tabla 3.** Valores por defecto de los cambios en las existencias de C del suelo a 20 años  
403 según datos de la zona y del IPCC para regiones tropicales..... 10  
404 **Tabla 4.** Correlaciones entre las variables analizadas en sistemas productivos de  
405 Villavicencio según la metodología de IPCC. .... 12  
406 **Tabla 5.** Autovalores en la confirmación de los Componentes principales (CPs) para  
407 cambios en las existencias de C según metodología del IPCC..... 13  
408 **Tabla 6.** Correlaciones de los CPs con las variables originales según datos del IPCC..... 14  
409  
410  
411  
412  
413  
414  
415  
416  
417  
418  
419  
420  
421  
422  
423  
424  
425  
426  
427  
428  
429  
430

431 **LISTA DE FIGURAS**

432 **Figura 1.** Contribución de las variables en los primeros dos componentes principales..... 13

433 **Figura 2.** Dendograma distribución de clúster y los sistemas de producción de  
434 Villavicencio ubicados en cada grupo según la metodología del IPCC..... 15

435