



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**CAMPUS V**



Captura de carbono en sistemas silvopastoriles de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit comparado con monocultivo de pasto en la Frailesca, Chiapas

## **TESIS**

**Que para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA  
TROPICAL**

**presenta**

**JUAN CARLOS LÓPEZ HERNÁNDEZ PS2089**

**Director de Tesis**

**Dr. Deb Raj Aryal**

**Codirector**

**Dr. Gilberto Villanueva López**  
**El Colegio de la Frontera Sur**

**Villaflores, Chiapas, diciembre de 2022**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, *CAMPUS V.*  
DIRECCIÓN



Villaflores, Chiapas  
11 de noviembre de 2022  
Oficio N° D/1012/22

**ING. JUAN CARLOS LÓPEZ HERNÁNDEZ**  
MAESTRANTE EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS *CAMPUS V*  
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **“Captura de carbono en sistemas silvopastoriles de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit comparado con monocultivo de pasto en la Frailesca, Chiapas”**, por este medio le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**

**M. C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA**  
DIRECTOR

C. c. p. Archivo

CAVS\*mrh.



Código: FO-113-05-05
Revisión: 0

## CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) **JUAN CARLOS LÓPEZ HERNÁNDEZ**

Autor (a) de la tesis bajo el título de **"Captura de carbono en sistemas silvopastoriles de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit comparado con monocultivo de pasto en la Frailesca Chiapas,"** presentada y aprobada en el año **2022** como requisito para obtener el título o grado de: **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL** autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 27 días del mes de noviembre del año 2022.

---

Nombre y firma del Tesista o Tesistas



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**CAMPUS V**



Esta tesis titulada: “**Captura de carbono en sistemas silvopastoriles de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit comparado con monocultivo de pasto en la Frailesca, Chiapas**”. Se encuentra registrada en la Dirección General de Investigación y Posgrado y se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **Manejo Agroecológico de Cultivos** del programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical, dirigida por el **Dr. Deb Raj Aryal**, perteneciente al cuerpo académico de Agroforestería Pecuaria de la Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V.



Villaflores, Chiapas México, diciembre de 2022.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma de Chiapas, por las facilidades otorgadas para realizar mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada.

A la Facultad de Ciencias Agronómicas (FCA) y Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical (MCPAT) y a todos los catedráticos por enriquecer mis conocimientos en mi formación académica.

Al C.P. Pedro Jiménez Pérez secretario general del STAUNACH, por las facilidades prestadas para realizar mis estudios de maestría.

Al Mtro. Carlos Alberto Velázquez Sanabria director de la Facultad de Ciencias Agronómicas por las facilidades prestadas para realizar los trabajos de campo en la parcela del sistema silvopastoril del CUTT San Ramón.

A mi comité tutorial Dr. Deb Raj Aryal, Dr. Gilberto Villanueva López, Dr. René Pinto Ruiz, Dra. Mariela Beatriz Reyes Sosa y MAT. Adalberto Hernández López por las correcciones y apoyo brindado en el desarrollo de mi investigación y trabajos de campo.

A la comisión revisora Dr. Deb Raj Aryal, Mariela Beatriz Reyes Sosa y Dr. Gilberto Villanueva López por las correcciones al documento de tesis.

A la Dra. Roselia Ramírez Díaz, por las facilidades prestadas para realizar los trabajos en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

A la Dra. Lissy Rosabal Ayan y Mtro. Manuel Antonio Hernández Ramos por el apoyo en la revisión y sugerencias al documento de tesis.

A los productores Ing. Federico Montejó Camacho propietario del rancho Llano Alto e Ing. Filiberto Gómez Martínez, propietario del rancho mil amores, por las facilidades prestadas para realizar los muestreos en el sistema silvopastoril y por la amistad brindada.

A mis compañeras y compañeros de la 14<sup>a</sup>. Promoción 2020-2022 de la Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical por la amistad durante los cursos, especialmente a Ing. Magnolia Maza González, Ing. Dulce Noelia Peña Cano e Ing. Zoila del Carmen Anzueto Heron agradezco sus comentarios y observaciones realizadas durante las presentaciones en clases.

Un agradecimiento a mis hijas Ana María y Belén por el apoyo durante mis estudios en especial a Bele por sus traducciones de los resúmenes al idioma inglés.

## CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
	Objetivo general.....	3
	Objetivos específicos .....	3
	Pregunta de investigación.....	4
	Hipótesis.....	4
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
	2.1 Sistema Silvopastoril.....	5
	2.1.1 Componentes de un Sistema Silvopastoril .....	6
	2.2 Sistema monocultivo de pasto .....	6
	2.3 Contribución del sistema silvopastoril a la fertilidad del suelo .....	8
	2.4. Reservorios de almacenamiento de carbono.....	8
	2.5 Carbono orgánico del suelo .....	9
	2.6. Carbono en biomasa aérea y subterránea.....	9
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
	3.1 Localización geográfica del área de estudio .....	10
	3.2.1 Diseño Experimental .....	12
	3.2.2 Cuantificación de biomasa arbórea (aérea y subterránea).....	13
	3.2.3 Biomasa herbácea y pasto.....	14
	3.2.4 Hojarasca y mantillo .....	14
	3.2.5 Muestreo de suelo en campo .....	15
	3.2.6 Análisis Físico-Químico del suelo.....	15
	3.2.7 pH y potencial redox (Eh) del suelo.....	15
	3.2.8 Densidad aparente del suelo.....	16
	3.2.9 Análisis de Nitrógeno .....	16
	3.2.10 Determinación de carbono orgánico del suelo .....	17
	3.2.11 Análisis Estadístico .....	18
IV.	RESULTADOS.....	19
	4.1 Concentración de carbono orgánico del suelo (%) entre sistema silvopastoril vs monocultivo de pasto de tres ranchos ganaderos .....	19
	4.2 Contenido de nitrógeno por sistema ganadero .....	23

4.3 Relación C:N entre sistema (silvopastoril vs monocultivo) por rancho ganadero.....	24
4.4. Carbono almacenado en biomasa aérea y subterránea en Sistema Silvopastoril por fecha de establecimiento.....	25
4.5 Biomasa de raíces finas por sistema (monocultivo vs silvopastoril).....	27
4.6 Carbono almacenado en biomasa de pasto y hojarasca de tres ranchos ganaderos.....	27
4.7 Propiedades Físicas y Químicas del Suelo.....	28
4.8 Almacén total de carbono por sistema.....	31
4.9 Relación entre las variables de almacenamiento de carbono y propiedades de suelo.....	32
V. DISCUSIÓN.....	34
5.1 Carbono orgánico del suelo por sistema ganadero.....	34
5.2 Carbono en biomasa arbórea y pasto.....	36
5.3 Variables edáficas.....	36
5.4 Historia de usos del suelo y manejo del sistema en almacenamiento de carbono en el suelo.....	38
5.5 Limitaciones y fuentes de incertidumbre.....	38
VI. CONCLUSIONES.....	39
VII. LITERATURA CITADA.....	40
VIII. ANEXO.....	47

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de Nitrógeno (g de N/kg de suelo) por sistema y rancho ganadero. ....	23
Cuadro 2. Relación C:N por sistema y rancho ganadero. ....	24
Cuadro 3. Biomasa de raíces finas en t ha <sup>-1</sup> por sistema y rancho ganadero en la Frailesca, Chiapas.....	27
Cuadro 4. Carbono en biomasa de pasto y hojarasca en t ha <sup>-1</sup> por sistema y rancho ganadero en la Frailesca, Chiapas.....	28
Cuadro 5. Valores de densidad aparente del suelo en dos sistemas de tres ranchos ganaderos, en la Frailesca, Chiapas.....	30
Cuadro 6. Potencial redox del suelo en dos sistemas de tres ranchos ganaderos de la Frailesca, Chiapas.....	31
Cuadro 7. Carbono total almacenado en cada reservorio por sistema y rancho ganadero de la región Frailesca de Chiapas.....	31
Cuadro 8. Matriz de correlación entre componentes principales y las variables de carbono y propiedades de suelo, generado por el análisis de componentes principales.....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los tres ranchos ganaderos en la región Frailesca, Chiapas. .	10
Figura 2. Imágenes de los sistemas silvopastoriles y monocultivo de pasto en los tres ranchos ganaderos de la región Frailesca de Chiapas. A y B San Ramón, C y D Llano Alto, E y F Independencia. ....	11
Figura 3. Esquema de distribución de parcelas (SSP y MP) en cada rancho ganadero. ....	12
Figura 4. Curva de calibración del espectrofotómetro.....	17
Figura 5. Concentración de COS (%) en cinco profundidades de suelo entre sistema silvopastoril y monocultivo de pasto de tres ranchos ganaderos de la región Frailesca de Chiapas: A) San Ramón, B) Llano Alto, C) Independencia. Las barras de error indican los respectivos intervalos de confianza. NS = No significativo (Tukey $p > 0.05$ ) entre sistemas en cada categoría profundidad. Diferentes letras mayúsculas indican diferencia estadística entre profundidad en SSP y las minúsculas indican diferencia estadística entre profundidad dentro del sistema MP. El * indica diferencia estadística entre sistemas. ....	20
Figura 6. Almacén de carbono orgánico del suelo en $t\ ha^{-1}$ en cinco profundidades de suelo de tres ranchos ganaderos de la región Frailesca de Chiapas. A) San Ramón, B) Llano Alto, C) Independencia. Las barras de error indican los respectivos intervalos de confianza. NS = No significativo (Tukey $p > 0.05$ ) entre sistemas en cada categoría profundidad. Diferentes letras mayúsculas indican diferencia estadística entre profundidad en SSP y las minúsculas indican diferencia estadística entre profundidad dentro del sistema MP.....	22
Figura 7. Carbono en biomasa aérea y subterránea en el sistema silvopastoril de tres ranchos ganaderos. A) San Ramón, B) Llano Alto, C) Independencia. Las barras de error indican los respectivos intervalos de confianza de 95%. ....	26
Figura 8. pH del suelo de tres ranchos ganaderos de la región Frailesca de Chiapas: A) San Ramón, B) Llano Alto, C) Independencia. Las barras de error indican los respectivos intervalos de confianza de 95%. NS = No significativo (Tukey $p > 0.05$ ) entre sistemas en cada categoría profundidad. Diferentes letras mayúsculas indican diferencia estadística entre profundidad en SSP y las minúsculas indican diferencia estadística entre profundidad dentro del sistema MP. ....	29
Figura 9. Biplot de relaciones entre dos factores generados por el análisis de componentes principales. DA = densidad aparente de suelo, Eh = potencial redox de suelo, Biom_arbol = biomasa arbórea, pH de suelo, Nitrógeno total, Biomasa de raíces finas, Biomasa de hojarasca, Carbono orgánico del suelo en $tha^{-1}$ y % de Carbono orgánico. El componente uno explica 38.33 % de varianza, componente 23.39 % de varianza. ....	33

## RESUMEN

La captura de carbono en el suelo y en biomasa aérea (BA) a través de sistemas silvopastoriles, es una de las estrategias para mitigar el cambio climático. Los sistemas silvopastoriles (SSP) con *Leucaena leucocephala* fijan carbono (C) y nitrógeno de la atmósfera, reduciendo los gases de efecto invernadero. También revierten el proceso de degradación de los potreros, mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo entre otros beneficios. El objetivo de este estudio fue evaluar la cantidad de C almacenado en el suelo y biomasa en SSP de *Leucaena leucocephala* comparado con monocultivo de pasto (MP). Se evaluó la cantidad de C orgánico del suelo a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm y se cuantificó el C almacenado en BA y raíces tanto en SSP de *L. leucocephala*, como en MP en tres ranchos ganaderos de la región Frailesca de Chiapas. El suelo fue el reservorio más grande tanto en SSP como en MP. Los resultados mostraron un promedio de C en el suelo de 67.7, 47.3 y 66.9 t ha<sup>-1</sup> en SSP, a su vez en MP de 78.1, 45.6 y 59.9 t ha<sup>-1</sup> en los ranchos San Ramón, Llano Alto e Independencia respectivamente, lo anterior a una profundidad de 0-10 cm. El C total en el Rancho San Ramón fue de 332.9 t ha<sup>-1</sup> en el SSP y 332.3 t ha<sup>-1</sup> en MP. En el rancho Llano Alto, los resultados fueron para el SSP 220.2 t ha<sup>-1</sup> y para MP 205.1 t ha<sup>-1</sup>. En el caso del rancho Independencia en el SSP se obtuvo 268.4 t ha<sup>-1</sup> y en MP 264.2 t ha<sup>-1</sup>. Se recomienda que antes del establecimiento de los SSP se realice análisis de suelos, lo cual, apoyará en el análisis del proceso de la captura de carbono y la contribución de los SSP en futuras investigaciones.

### Palabras clave:

Carbono almacenado, agroforestería pecuaria, sistemas ganaderos, carbono orgánico del suelo, mitigación de gases de efecto invernadero, sureste mexicano

## ABSTRACT

Carbon sequestration in soil and above-ground biomass, (AB) through silvopastoral systems is one of the strategies to mitigate the effects of climate change in the livestock systems. The silvopastoral systems (SPS) with *Leucaena leucocephala* fix carbon and nitrogen from the atmosphere, decreasing the greenhouse gases. They also revert the degradation process of **meadows/pastures** and they improve the physical and chemical properties of the soil, among other benefits. The objective of this research was to evaluate the amount of carbon stored in the soil and above-ground biomass of *Leucaena leucocephala* silvopastoral systems compared to a pasture monoculture. The amount of soil organic carbon was evaluated at depths of 10, 20, 30, 40, and 50cm and the carbon stored in AB and roots in SPS of *L. leucocephala* and open pasture in three ranches in the Frailesca region of Chiapas was quantified. The results showed an average of carbon in soil of 67.7, 47.3 and 66.9 t ha<sup>-1</sup> in SPS, and 78.1, 45.6 and 59.9 t ha<sup>-1</sup> in PM in the San Ramón, Llano Alto and Independencia ranches respectively. The results were better in SPS in the Independencia ranch and may be due to the rotational grazing of cattle, irrigation during the dry season and the incorporation of OM (organic matter). The total amount of carbon in San Ramón ranch was 332.9 t ha<sup>-1</sup> in SPS and 332.3 t ha<sup>-1</sup> in pasture monoculture. In Llano Alto ranch the results for the silvopastoral system were 220.2 t ha<sup>-1</sup> for SPS and 205.1 t ha<sup>-1</sup> for the PM. For the Independencia ranch it was found 268.4 t ha<sup>-1</sup> for SPS y 264.2 t ha<sup>-1</sup> for the PM. It is recommended that prior to the establishment of the SPS's, soil analysis be carried out, which will support the analysis of the carbon sequestration process and the contribution of the SPS in future research.

**Key words:** carbon sequestration, livestock agroforestry, livestock systems, soil organic carbon, greenhouse gases mitigation, southeastern Mexico.

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es considerado uno de los problemas ambientales más importantes a nivel mundial en el siglo XXI. El cambio en el clima es causado por el incremento de las concentraciones de diferentes gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (González y Meira, et al., 2020).

A nivel mundial, desde el 2007 hasta 2016, las actividades relativas a la agricultura y otros usos de la tierra representaron alrededor del 13% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2018). De las actividades que emiten mayor cantidad de GEI a la atmósfera, encontramos que las derivadas del sector agropecuario y cambio de uso de suelo ocupan el segundo lugar a nivel mundial después de combustibles fósiles (IPCC, 2018; Ortiz y Riascos, 2008; Cantú, et al. 2018).

En México durante el 2015, la ganadería emitió 70,567.60 Gg de CO<sub>2</sub> de los cuales 66,131.52 son CH<sub>4</sub> y 4, 436.08 N<sub>2</sub>O (IPCC, 2015), por otra parte, las emisiones procedentes de la pérdida de biomasa y carbono orgánico del suelo representan más del 50 % de emisiones por cambio de uso del suelo (Ferrer, et al., 2015; Ordoñez, 2001). El carbono (C) almacenado se pierde por el cambio de uso del suelo de vegetación nativa a tierras agropecuarias, ocasionando desbalance natural de los ecosistemas en términos de estabilidad climática y pérdida de biodiversidad (Arreaga, 2002; López, 2010).

México a pesar de contar con 7.3 millones de hectáreas de bosques con algún tipo de manejo (Rodríguez, 2016), continúa perdiendo zonas tropicales y subtropicales, incluyendo los bosques (Armenteras, et al., 2017). En Chiapas entre 1972 a 1995 la tasa de deforestación alcanzó 7.2 % anual (Soto-Pinto, 2008). En México, 80.3 millones de hectáreas de tierra se utiliza para el pastoreo de ganado y Chiapas tiene alrededor de 3.7 millones de hectáreas de terreno como praderas y potreros cultivados o inducidos (INEGI, 2018, Aryal, et al., 2022). Estos terrenos ganaderos son principalmente potreros abiertos con poca presencia de árboles, muchos de ellos se encuentran en diferentes etapas de degradación (Arroyo, et al., 2022).

En este contexto, es urgente identificar y evaluar nuevas alternativas más sostenibles de explotación pecuaria que los sistemas tradicionales de monocultivo de potrero. Una alternativa de producción pecuaria sustentable lo representan los sistemas silvopastoriles (SSP) (Morales-Ruiz, *et al.*, 2021). Dichos sistemas asocian árboles y arbustos, los cuales interactúan con el pasto y animales de forma integral (Harvey y González, 2007; Casanova-Lugo, *et al.*, 2011). Además de aumentar la biodiversidad y disminuir la presión sobre los bosques tropicales, los SSP también disminuyen las emisiones de GEI a la atmósfera (Villanueva-López, *et al.*, 2016). Estos sistemas permiten hacer un mejor aprovechamiento de los recursos naturales locales, y a la vez, contribuyen a revertir los impactos ambientales derivados de las actividades pecuarias (Aryal, *et al.*, 2022b).

Al establecer los SSP aumenta la incorporación del carbono atmosférico al ciclo biológico a través de la fotosíntesis (Harvey y González, 2007; Aryal, *et al.*, 2022). Al igual, incrementan el rendimiento y calidad de forraje, mejorando la productividad animal (Casanova-Lugo, *et al.*, 2022) y ofrecen beneficios ambientales como la fijación y reciclaje de nitrógeno atmosférico, protege al suelo de la erosión y adicionan materia orgánica (MO) al suelo (Casanova-Lugo, *et al.*, 2011). Además, los SSP aumentan las áreas con sombra, mejoran el microclima al interior de los potreros y el bienestar animal (Pinto-Ruiz, *et al.*, 2018).

Estos sistemas también contribuyen en la restauración de los suelos degradados con la incorporación de materia orgánica, retienen la humedad del suelo y disminuyen la temperatura (Murgueitio, *et al.*, 2014; Sánchez, *et al.*, 2014). La asociación directa de árboles y arbustos con herbáceas ayuda a conservar ecosistemas y generar simultáneamente beneficios económicos y ambientales (Buda, 2013).

Algunos estudios indican que el carbono en biomasa arbórea viva depende de la composición de especies, densidad de árboles por hectárea y la edad de la plantación (op.cit.). El carbono en el suelo depende del clima, manejo del sistema y el tiempo (Casanova, *et al.*, 2011). *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit es una de las especies más utilizadas en SSP en América Latina (Bacab, *et al.*, 2013), por su capacidad de

fijar nitrógeno atmosférico (N<sub>2</sub>), su tipo de crecimiento, resistencia a sequías y calidad nutricional (Murgueitio, et al., 2014).

La implementación de un sistema silvopastoril con *L. leucocephala*, tiene potencial para mejorar la fertilidad de los suelos y disponer el nitrógeno para la gramínea asociada, incrementando la cantidad de alimento para el ganado (José y Dollinger, 2019). Sin embargo, aún no se ha comprendido bien la contribución de SSP de *L. leucocephala* en el almacenamiento de carbono a mayores profundidades del suelo en la región Frailesca de Chiapas.

Por lo anterior, este estudio evaluó la fijación de carbono en la biomasa y en el suelo de un sistema silvopastoril con *L. Leucocephala* en tres ranchos ganaderos y se comparó con un sistema monocultivo de pasto adyacente al sistema silvopastoril en la región Frailesca de Chiapas.

### **Objetivo general**

Evaluar la cantidad de carbono total acumulado en el suelo en la biomasa arbórea (aérea y subterránea) y herbácea del sistema silvopastoril de *L. leucocephala* con diferentes fechas de establecimiento y del sistema tradicional de monocultivo de pasto en la Frailesca, Chiapas.

### **Objetivos específicos**

1. Analizar la cantidad de carbono orgánico acumulado a diferentes profundidades del suelo de los sistemas silvopastoriles de *L. leucocephala* y en el suelo de monocultivo de pasto.
2. Analizar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa arbórea (aérea y subterránea) y herbácea presente en SSP de *L. leucocephala* y en monocultivo de pasto.
3. Evaluar los parámetros de densidad aparente, pH, potencial redox, y contenido de nitrógeno del suelo entre sistema silvopastoril y monocultivo de pasto.

### **Pregunta de investigación**

¿Cuál es la contribución del sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* en la acumulación de carbono total (biomasa arbórea, herbácea, hojarasca y carbono orgánico en suelo a diferentes profundidades) referente a sistemas de monocultivo de pasto?

### **Hipótesis**

El sistema silvopastoril de *L. leucocephala* aporta mayor cantidad de materia orgánica en los horizontes profundos del suelo y mayor retención de carbono en biomasa arbórea, por lo tanto, presenta mayor potencial de acumulación de carbono referente al sistema de monocultivo de pasto.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Sistema Silvopastoril

Un sistema silvopastoril se refiere al establecimiento de árboles con la siembra de pasto o leguminosas forrajeras, considerándose un sistema de producción complementario que mejora la crianza del ganado y proporciona una mejor calidad de las pasturas, así como la restauración de los suelos degradados con la captura de carbono (Sánchez, 2006).

Los Sistemas Silvopastoriles, principalmente de *L. leucocephala*, tienen un papel importante para el mejoramiento de la ganadería bovina, ya que mejora y diversifica la calidad nutricional de la alimentación del ganado. Estos sistemas son una alternativa para mitigar el cambio climático y revertir el impacto negativo a los recursos naturales.

Los SSP combinan elementos herbáceos y leñosos como una alternativa al monocultivo de pastos, incrementando el almacenamiento de carbono y tiene efecto en el ciclo del nitrógeno, lo cual, concuerda con Anriquez, *et al.* (2018), quienes reportan que el incremento de los residuos orgánicos tienen efecto en el contenido de nitrógeno.

Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) con alta densidad de árboles, arbustos y pasturas favorecen la humedad del suelo, reducen las altas temperaturas en los potreros, mejoran la productividad y calidad de los forrajes, de igual forma, actúan como barreras rompevientos y proveen sombra, mejoran los parámetros microclimáticos del suelo, incrementando la capacidad de retención de agua (Murgueitio, *et al.*, 2014).

Por otro lado, Ramírez (2020) al estudiar el almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles, reportó que estos sistemas almacenan  $10.03 \text{ t ha}^{-1}$  de C en el componente leñoso, concluyendo que estos sistemas silvopastoriles contribuyen al mejoramiento de la fertilidad del suelo.

### **2.1.1 Componentes de un Sistema Silvopastoril**

Los componentes de un SSP lo integran principalmente árboles y arbustos que interactúan con otra especie forrajera y animales, todos bajo un manejo integral donde a mediano plazo se busca incrementar la productividad y el mejoramiento paulatino del suelo.

Los SSP se componen por gramíneas rastreras o erectas, además de árboles y arbustos que pueden ser leguminosas o no, y otro elemento son los animales, estos se alimentan de los componentes forrajeros, situación que mejora la cantidad y calidad de la dieta animal (Bacab, *et al.*, 2013).

Del Pozo, (2019), indica que los SSP son sistemas complejos donde se asocian árboles, arbustos, pastos y animales en determinadas áreas con el fin de producir un bien, ya sea carne, leche, madera. Se reconoce que estos sistemas tienen un alto potencial para aumentar la productividad de las tierras y está caracterizado por una serie de factores, entre los que se pueden mencionar: efectos en el microclima, reciclaje de nutrientes, protección física del suelo y la diversificación de la producción.

Estos componentes también ayudan en la captura de carbono, tal como lo indicaron Giraldo *et al.* (2008) al evaluar un SSP con alta densidad de árboles, encontraron que el C total fijado fue de 156.21 t ha<sup>-1</sup> en los primeros 15 cm de profundidad del suelo.

En este mismo sentido Anríquez, *et al.* (2018), mencionan que los sistemas silvopastoriles en cinco años de establecidos incrementan la biomasa y a nueve años se incrementa la cantidad del mantillo, esto se debe principalmente a la hojarasca que proviene de los árboles

### **2.2 Sistema monocultivo de pasto**

El cultivo de pastizales se caracteriza por presentar una vegetación abierta (sin árboles), con la finalidad de ser consumida por los herbívoros y tienen un gran potencial para fijar carbono (Anguiano, 2013), así mismo pueden estar conformados

por diferentes estratos arbóreos. Lok, (2010) define al pastizal como el área destinada a la producción de pastos para la ingesta del ganado, mismo autor clasifica a los pastizales en naturales cuando las tierras presentan pasto nativo y artificial aquellos de pastoreo intensivo que, frecuentemente utilizan especies forrajeras introducidas donde se realizan prácticas culturales como podas, fertilización y manejo de plagas.

De acuerdo con Céspedes *et al.* (2012) el C acumulado en el suelo se minimiza a medida que incrementa la profundidad, afirmando que más de la mitad del C se localiza en los primeros 20 cm de profundidad. Sin embargo, en el tratamiento con pastoreo el componente animal limita la acumulación de C en el horizonte superficial, disminuyendo el reservorio, con lo que el sistema de pastizal en los primeros 20 cm de profundidad contiene el 80% de C del suelo.

Por otra parte, Vásquez (2020) evaluó el crecimiento de pasturas en un sistema silvopastoril. En su investigación encontró diferencias altamente significativas a los 30, 45, 60 y 75 días de crecimiento, resultados que indican que el efecto de los árboles influye en el rendimiento de la pastura, ya que esta especie captura nitrógeno atmosférico en el suelo aportando nutrientes y permitiendo un adecuado crecimiento del pasto.

Iraola *et al.* (2016) reportaron que las gramíneas asociadas con la especie *Leucaena* se favorecen aumentando el porcentaje de proteína bruta, lo que se atribuye a la fijación de nitrógeno atmosférico. A la vez, Yamallel (2014) menciona que en un matorral se pueden encontrar hasta 15 especies según el tiempo de descanso del pastizal.

Díaz *et al.* (2019) evaluaron el contenido de C almacenado en la biomasa de pastizal. Estos autores encontraron valores de 956 t ha<sup>-1</sup> de C, resultados similares reporta Rodríguez (2002), al evaluar el mismo sistema concluyendo que asociar el pastizal nativo con *Leucaena*, aumenta la cantidad de biomasa y humedad en el suelo comparado con monocultivo de pasto.

### **2.3 Contribución del sistema silvopastoril a la fertilidad del suelo**

Se sabe que los SSP pueden reducir la concentración de CO<sub>2</sub> mediante el secuestro de carbono en la biosfera. Los sistemas silvopastoriles pueden contribuir a la mitigación del calentamiento global ya que producen y almacenan una importante cantidad de biomasa. Además de la captura de carbono en biomasa, estos sistemas aportan materia orgánica (MO) en el suelo.

Crespo (2008) evaluó la especie *L. leucocephala* + pastizal sin árboles, obteniendo resultados que demuestran que los contenidos de MO fueron mayores en la asociación leñosa + pastizal con 140.4 t ha<sup>-1</sup> lo que demuestra que esta asociación puede ser una alternativa para mejorar los suelos.

Hernández *et al.* (2008) estudiaron tres tipos de suelos con sistemas silvopastoriles de diez años de explotación, al compararlo con monocultivo de pasto encontraron que la MO es mayor en un sistema con árboles y, además observó mayor diversidad de organismos, afirmando que estos sistemas son una buena opción para mejora de los suelos.

### **2.4. Reservorios de almacenamiento de carbono**

Los principales componentes (reservorios) de almacenamiento de carbono en SSP son el suelo, la biomasa aérea, raíces y materia muerta (madera seca y hojarasca). El suelo es el principal reservorio de C en los ecosistemas terrestres; el cambio en su uso se asocia a procesos de degradación, siendo la principal causa de la reducción de C, trayendo como consecuencia el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera y perdiendo la función como sumidero de C (Contreras, *et al.*, 2020). Se estima que el C en la biomasa de *Leucaena* varía de 90 a 175 t ha<sup>-1</sup> (Conrad, 2017) y en el suelo de 60 a 115 t ha<sup>-1</sup> (Ibrahim, *et al.*, 2007). En la región Frailesca existen pocos estudios de la estimación de C en el suelo, sobre todo en sistemas silvopastoriles.

## **2.5 Carbono orgánico del suelo**

El suelo es un recurso importante para la productividad y funcionamiento de los ecosistemas; del manejo apropiado depende la producción sostenible, sin embargo, el cambio en su uso y manejo origina que las características físicas y químicas afecten su equilibrio natural (Astier, *et al.*, 2002; Lal y Shukla, 2004; Hilje y Saunders, 2008). En este sentido, cuando las características del suelo se encuentran en condiciones favorables se obtiene un buen desarrollo de las plantas lo que puede ser un indicador de un suelo fértil (Martínez, 2018).

## **2.6. Carbono en biomasa aérea y subterránea**

La biomasa aérea se compone de tallos, ramas y hojas de los árboles o arbustos que integran un SSP con la especie *L. leucocephala*, estudios realizados por Lugo *et al.* (2010), demostraron que esta especie contiene 10.4 t ha<sup>-1</sup> de C en biomasa.

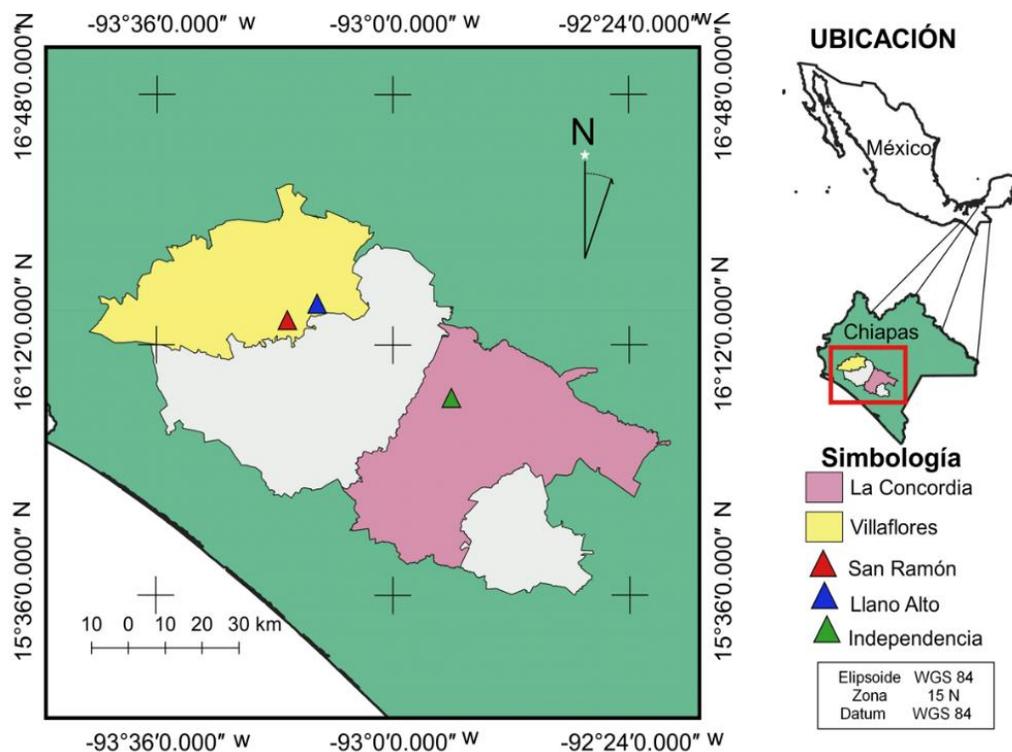
Las raíces son estructuras responsables de la absorción de agua y nutrientes, Contreras *et al.*, (2021) encontraron que *L. leucocephala* almacena en biomasa de raíces finas 0.44 t de C ha<sup>-1</sup> y Lugo *et al.* (2010) reportaron 8.1 t ha<sup>-1</sup> en los primeros 0-30 cm de profundidad.

En el mismo SSP se encuentra el mantillo, un componente que almacena C y regula los procesos de los ecosistemas forestales, influyendo directamente en la fertilidad del suelo y en la productividad (Pérez-Vázquez, *et al.* 2021). El mantillo se conoce como la MO en proceso de descomposición que se origina a partir de las estructuras vegetales como hojas, ramas o tallos que se depositan en el suelo (Bonilla, 2009) y funciona como una barrera física contra la erosión y una fuente de nutrientes que se integran al suelo (Cano-Flores, *et al.*, 2020).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización geográfica del área de estudio

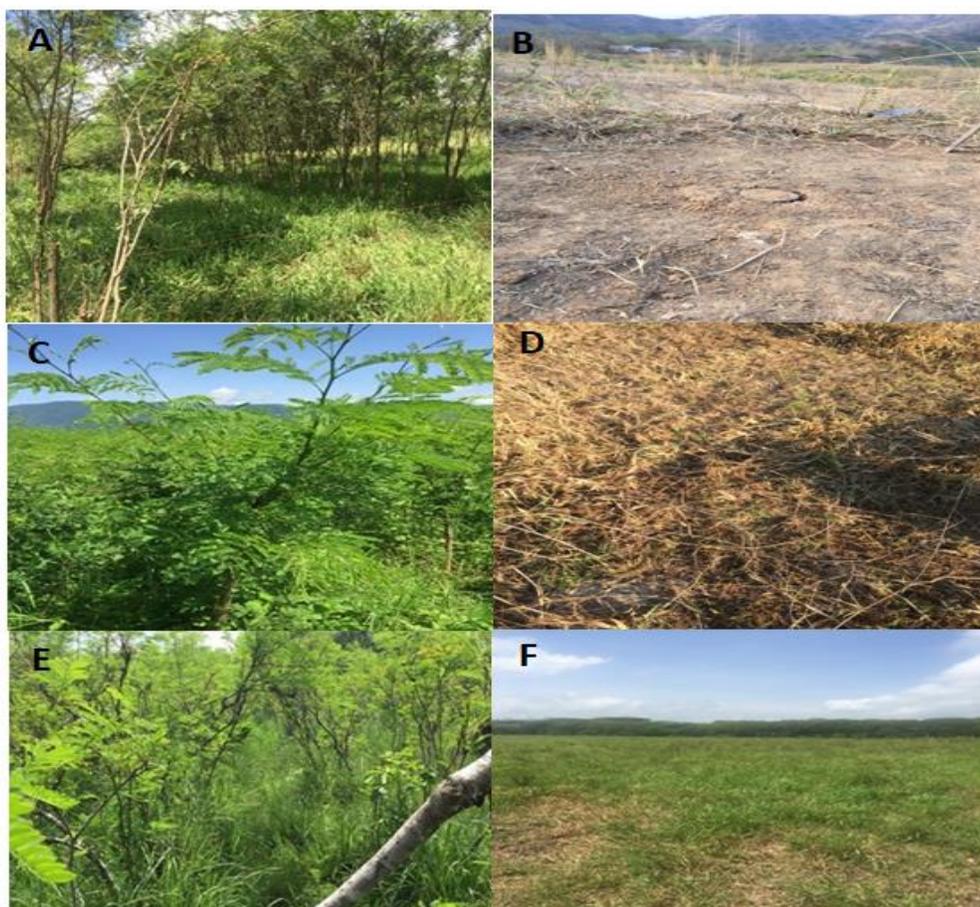
Este estudio se llevó a cabo en tres Ranchos ganaderos de la región Frailesca, donde se tienen establecidos sistemas silvopastoriles de *L. leucocephala*. Los ranchos (San Ramón y Llano Alto) se encuentran ubicados en el municipio de Villaflores y el rancho Mil Amores de Independencia en el municipio de La Concordia en el estado de Chiapas (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de los tres ranchos ganaderos en la región Frailesca, Chiapas.

Ambos municipios pertenecen a la región socioeconómica denominada VI Frailesca, ubicada en la provincia fisiográfica Sierra Madre de Chiapas y Depresión Central. Cuenta con una superficie de 8,001.43 km<sup>2</sup>. El clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación media anual de 1,200 a 2,000 mm y temperaturas de 22 °C a 26 °C (INEGI, 2010).

Los tres ranchos ganaderos cuentan con sistemas silvopastoriles de la especie *L. leucocephala* y se encuentran ubicados de la siguiente manera: Rancho San Ramón, ubicado en el Km 2.0 de la carretera Villaflores-Villahidalgo, en el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología (CUTT) de la Facultad de Ciencias Agronómicas (Figura 2A); Rancho Llano Alto ubicado en el km 15.0 de la misma carretera (Figura 2C). El rancho Independencia en el km 5.4 de la carretera Independencia-Finca Cuxtepeques en el municipio de la Concordia Chiapas (Figura 2E), y monocultivo de pasto se encuentra adyacente a cada uno de los SSP (Figuras 2B, 2D y 2F). Los ranchos seleccionados fueron georreferenciados con un sistema posicionamiento geográfico (GPS), se eligieron los que cumplían con los siguientes criterios: sistema silvopastoril con la especie *L. leucocephala* asociado a una gramínea y monocultivo de pasto sin árboles.

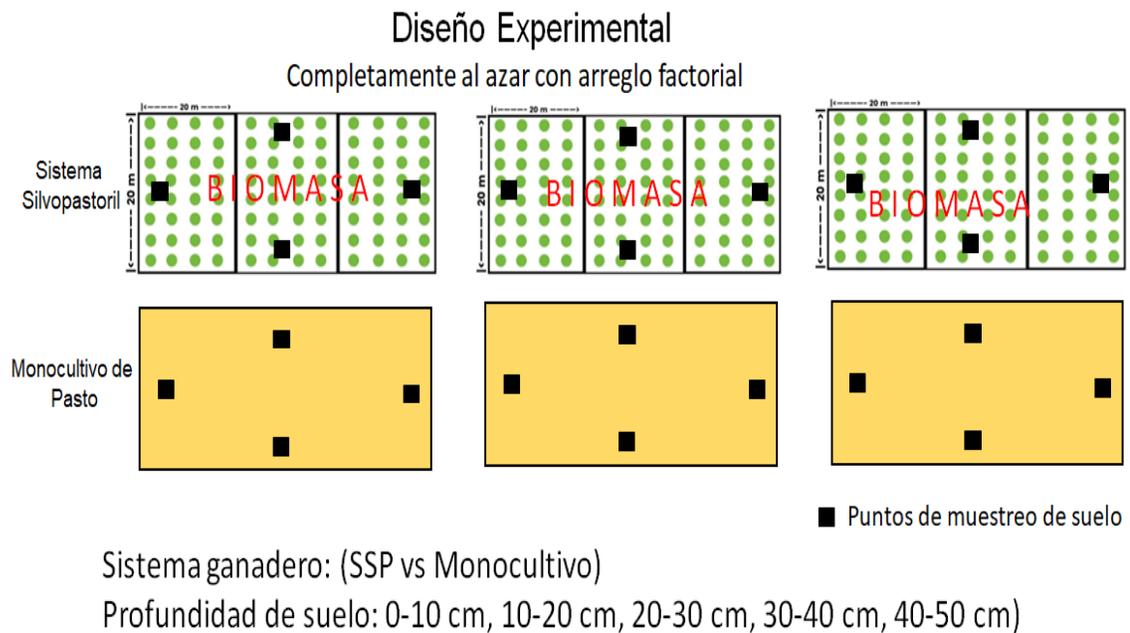


**Figura 2.** Imágenes de los sistemas silvopastoriles y monocultivo de pasto en los tres ranchos ganaderos de la región Frailesca de Chiapas. A y B San Ramón, C y D Llano Alto, E y F Independencia.

La selección de los ranchos se llevó a cabo mediante recorridos y sondeos de campo, esto permitió identificar ranchos ganaderos con un sistema silvopastoril de *L. leucocephala* y monocultivo de pasto. Se entrevistó a los propietarios usando un formulario (Anexo 1) para obtener información biofísica sobre la edad, tipo de manejo del sistema, especies arbóreas, densidades de siembra, entre otras características.

### 3.2.1 Diseño Experimental

El estudio se realizó en un sistema silvopastoril con *L. leucocephala* asociado con pasto, con diferentes fechas de establecimiento y en monocultivo de pasto (MP). Cada unidad experimental estuvo comprendida de una superficie de 20 x 20 metros. La parcela del sistema silvopastoril y monocultivo se dividió en cuatro cuadrantes tomando en cuenta los puntos cardinales para cubrir las posibles heterogeneidades causado por las pendientes naturales dentro de la parcela de muestreo en cada cuadrante; se eligió al azar el punto de muestreo para biomasa herbácea, mantillo y suelo. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial por profundidad y sistema (Figura 3).



**Figura 3.** Esquema de distribución de parcelas (SSP y MP) en cada rancho ganadero.

El sistema silvopastoril del rancho San Ramón, presentó un arreglo de siembra a doble hilera con distancia entre filas de un metro y 0.50 m entre plantas, con seis metros de distancia entre callejones.

Las fechas de establecimiento de las parcelas fueron: 2017, 2018 y 2019. Entre los callejones se encuentra el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y mombasa (*Panicum máximum, Jacq.*). La parcela correspondiente a monocultivo de pasto se encuentra adyacente al SSP con la especie de pasto estrella, (*Cynodon nlemfuensis*)

El sistema silvopastoril en el rancho Llano Alto, presentó una distribución de plantas de un 0.80 m entre surcos y 0.50 m entre plantas, con las siguientes fechas de establecimiento: 2018 fracción Santo Tomás, 2019 Fracción San Martín y 2020 Fracción Fátima. La parcela de monocultivo de pasto se encuentra adyacente a cada fracción y predomina la especie de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), en ambos sistemas.

El rancho Independencia, presentó un arreglo de siembra de un metro entre plantas y un metro entre surcos. Las fechas de establecimiento fueron: 2011 y 2015. La parcela de monocultivo de pasto se encuentra adyacente y predomina la especie de pasto estrella, (*Cynodon nlemfuensis*) en los dos sistemas.

### **3.2.2 Cuantificación de biomasa arbórea (aérea y subterránea)**

Para cuantificar la biomasa arbórea de los SSP de cada rancho, se midieron tres parcelas de 20x20 metros, considerando la fecha de establecimiento de cada sistema. En total fueron 18 parcelas de SSP con una superficie de 400 m<sup>2</sup>. En cada parcela se tomaron datos de: diámetro de la base (DB), diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura de planta. Para calcular la biomasa aérea en *L. leucocephala*, se utilizó la ecuación alométrica (eq. 1) propuesta por Gómez-Castro *et al.*, (2010).

$$BA = \text{Exp} (-1.58+0.97 \text{ LN}(\text{DAP}*\text{ALT}) \dots\dots\dots \text{Eq. 1}$$

Donde BA = biomasa aérea, DAP = diámetro a la altura de pecho, ALT = altura del árbol, LN = logaritmo natural y los números corresponden a los parámetros de la regresión. Los datos obtenidos se multiplicaron por la constante 0.47 para hacer la conversión a carbono total. Para obtener los cálculos de carbono en raíces se utilizó la ecuación alométrica (eq. 2) propuesta por Cairns, *et al.*, (1997).

$$BR=EXP(-1.085+0.9256*LN(BA)) \dots\dots\dots Eq.2$$

Donde BR: biomasa de raíces, BA: biomasa aérea, LN: logaritmo natural de biomasa aérea y los números corresponden a los cálculos de la regresión.

### **3.2.3 Biomasa herbácea y pasto**

Para el levantamiento de los datos de biomasa herbácea y pasto se colocaron 12 cuadrantes en el SSP y 4 en MP en los ranchos San Ramón y Llano Alto y en el rancho Independencia 6 en el SSP y 3 en MP. La medida del cuadrante fue de 1 x 1 m. Se colectó todo el material herbáceo existente en la superficie, posteriormente las muestras fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agronómicas para procesar y estimar peso húmedo y peso seco. El peso seco se obtuvo después de haberlo sometido a 70 °C, durante 48 horas en la estufa de secado. El contenido de carbono orgánico en la biomasa herbácea y pasto se obtuvo a través del método de Walkley y Black (1934). Se pesó 0.0250 g de la submuestra previamente molido y tamizado en una malla 0.2 mm, a esta muestra se agregó dicromato de potasio, ácido sulfúrico y agua destilada, posteriormente se llevó al espectrofotómetro marca Thermo Scientific modelo Genesys 10S UV-VIS, en el cual se obtuvieron los datos de absorbancia de luz a 600 nm (Heanes, 1984).

### **3.2.4 Hojarasca y mantillo**

Para levantar los datos de hojarasca y mantillo, se utilizó un cuadrante de 0.5 x 0.5 m, colocándose 12 cuadrantes en el SSP y 4 en MP en los ranchos San Ramón y Llano Alto y en el rancho Independencia 6 en el SSP y 3 en MP. Las muestras se obtuvieron del sistema silvopastoril y monocultivo de pasto. La muestra de hojarasca y mantillo se

levantó cuidadosamente sin mezclar partículas de suelo, se depositaron en bolsas de polietileno y posteriormente se obtuvo el peso húmedo de cada muestra. Después de haber realizado el levantamiento en campo, se llevó al laboratorio para obtener una submuestra y secarlo en una estufa durante 48 horas a 70 °C. Posteriormente, se molió en un molino tipo Willie una porción homogénea de cada muestra para realizar el análisis de contenido de carbono.

### **3.2.5 Muestreo de suelo en campo**

Se tomaron muestras de suelo a la profundidad de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm en cada sistema (silvopastoril y monocultivo de pasto). Los muestreos se realizaron durante los meses de marzo a junio de 2021. Se colectó dos muestras de cada profundidad. La primera muestra sirvió para conocer la densidad aparente del suelo y se obtuvo utilizando un cilindro metálico de 10 cm de altura y 5.4 cm de diámetro.

La segunda muestra sirvió para realizar el análisis químico y determinar la cantidad de carbono orgánico en el suelo. Cada muestra de suelo se depositó en bolsas de papel con su identificación correspondiente (datos de cada sistema, profundidad, propietario, etc). En total se obtuvieron 840 muestras de suelo de las cuales 240 se colectaron en el SSP y 240 en el sistema de MP, posteriormente, fueron secadas a la sombra, tamizadas en una malla de 0.2 mm y se procedió al análisis de laboratorio.

### **3.2.6 Análisis Físico-Químico del suelo**

Siguiendo los procedimientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002), donde establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, clasificación de los suelos, parámetros, muestreo y análisis se procedió a realizar los siguientes análisis:

### **3.2.7 pH y potencial redox (Eh) del suelo**

La determinación del pH del suelo se realizó a través del método AS-02, siguiendo este procedimiento, se pesó 10 gramos de suelo previamente tamizado en una malla de 2 mm, posteriormente se agregó 20 ml de agua destilada para tener una proporción

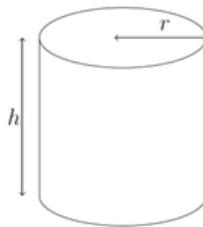
suelo:agua (1:2). Con una varilla de vidrio se agitó de manera manual durante 30 minutos con intervalos de cinco minutos y dejando reposar 15. Posteriormente se procedió a obtener los datos de pH y conductividad eléctrica con el potenciómetro de mesa marca OAKLON serie 510, previamente calibrado con una solución buffer pH de 4.0 y 7.0.

### 3.2.8 Densidad aparente del suelo

Las muestras de suelo se pesaron para obtener los datos de peso húmedo, luego se secaron en la estufa a 70 °C durante 48 horas y se obtuvo el peso seco de la muestra. Posteriormente se realizó el cálculo de la densidad aparente (DA) mediante la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{\text{Peso de suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

Para conocer el volumen del cilindro, se utilizaron los datos de altura del cilindro y diámetro utilizando la siguiente fórmula:



$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Los datos obtenidos se capturaron en una base Excel.

### 3.2.9 Análisis de Nitrógeno

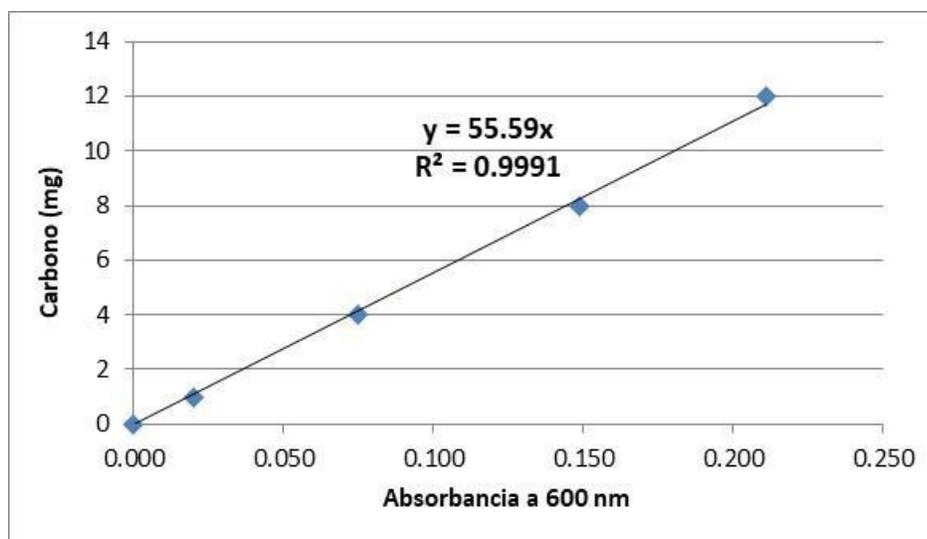
El análisis de nitrógeno se realizó en el laboratorio de fertilidad de suelos y química ambiental del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillos. Se utilizó el método de micro-Kjeldahl para determinar el nitrógeno inorgánico del suelo. Este método se basa en la extracción del amonio intercambiable por equilibrio de la muestra de suelo

con  $\text{KCl } 2\text{N}$  y su determinación por destilación mediante arrastre de vapor en presencia de  $\text{MgO}$ , Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002).

### 3.2.10 Determinación de carbono orgánico del suelo

Para determinar carbono orgánico en el suelo se utilizó el método de Walkley y Black (1934), con lectura espectrofotométrica (Heanes, 1984). Este método consiste en la recuperación total del C orgánico en una submuestra de 0.250 g de suelo debidamente homogeneizado y pasado por un tamiz de 0.2 mm.

Siguiendo el procedimiento de la NOM-021-RECNAT-2000, se agregó 5 ml de dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), 10 ml de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y 100 ml de agua destilada. Posteriormente se realizó la lectura en el espectrofotómetro (Thermo Scientific modelo Genesys 10S UV-VIS) previamente calibrado con una concentración de sacarosa a una longitud de onda de 600 nm (Figura 4). Para determinar el contenido de carbono en biomasa de pasto, hojarasca y mantillo, se pesó 0.0250 g de la submuestra previamente molida y tamizada y se continuó con el mismo procedimiento que se realizó a las muestras de suelo.



**Figura 4.** Curva de calibración del espectrofotómetro.

### 3.2.11 Análisis Estadístico

Una vez concentrado y capturado los datos de las variables por cada rancho y por cada sistema (silvopastoril y en monocultivo de pasto), se realizó una prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de distribución de datos. En función de que los datos resultaron normales, se realizó análisis de varianza (ANOVA) de una vía y factorial. Para determinar las diferencias entre sistema y profundidad de muestreo de suelo, se utilizó pruebas de comparación de medias y el modelo de recuperación de carbono con la edad de plantación de *Leucaena*. La comparación entre dos sistemas silvopastoriles se realizó dentro de cada rancho ganadero. Se realizó análisis de regresión y correlación para los cálculos de biomasa aérea viva de los SSP de cada rancho, considerando los datos de DB, DAP y altura de planta y además se evaluaron las asociaciones entre variables. Para conocer la relación entre las variables por cada rancho ganadero, se realizó un análisis de componentes múltiples entre las variables COS en  $\text{tha}^{-1}$ , pH, potencial redox, densidad aparente, biomasa área, biomasa de raíces finas, biomasa de pasto y hojarasca y % de COS. Se utilizó el paquete estadístico SPSS Statistics versión 24.

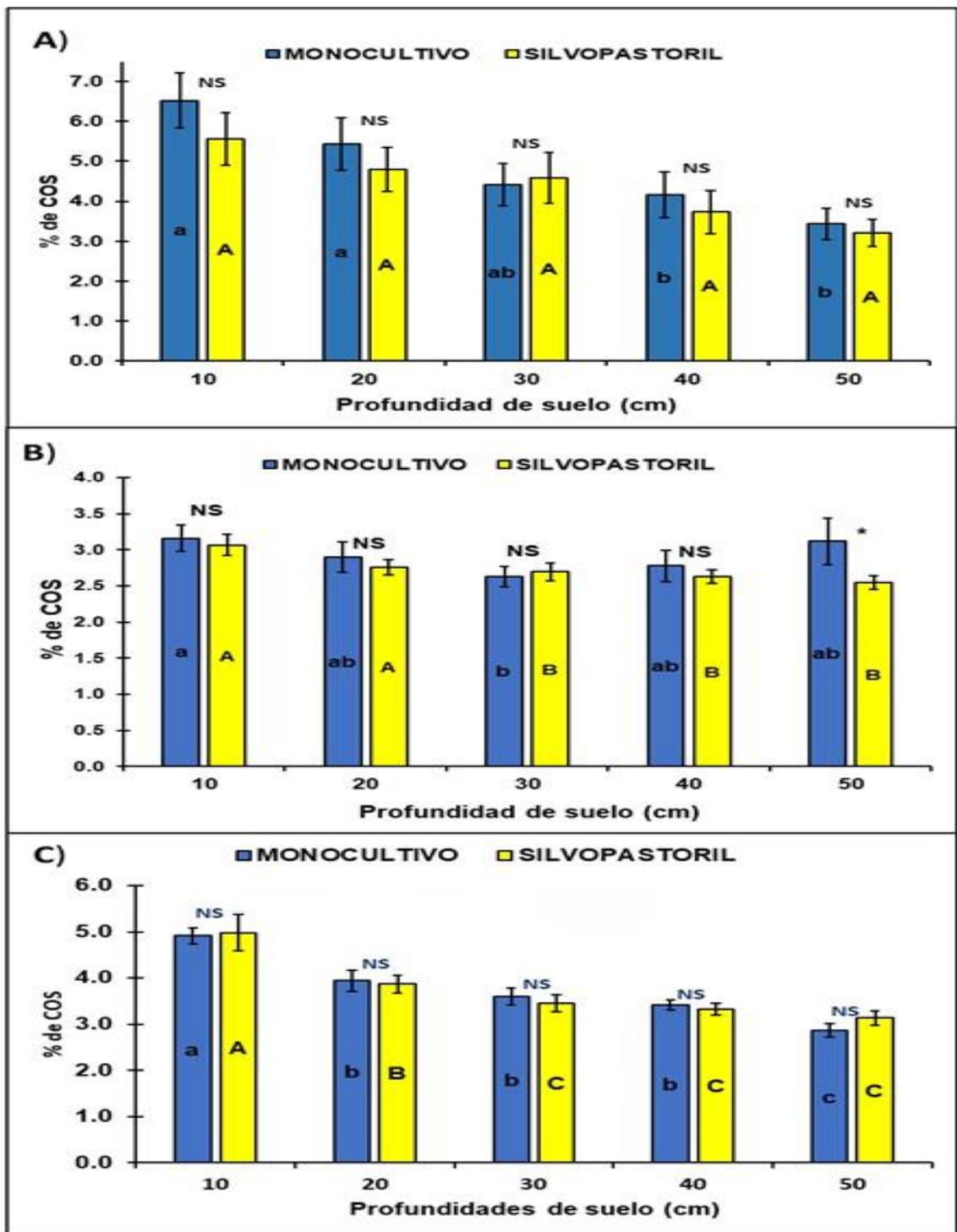
## IV. RESULTADOS

### 4.1 Concentración de carbono orgánico del suelo (%) entre sistema silvopastoril vs monocultivo de pasto de tres ranchos ganaderos

Los resultados obtenidos en la concentración (%) de carbono orgánico del suelo (COS) en el rancho San Ramón indicaron que no hubo diferencia estadística significativa entre sistemas ganaderos (ANOVA  $F=2.36$ ;  $p=0.12$ ), solo entre profundidad de muestreo ( $F=21.30$ ,  $p=0.00$ ). Además, se observó que la concentración de carbono disminuye a medida que se profundiza el muestreo. Las concentraciones de COS variaron de 3.4 a 6.5% en monocultivo de pasto y de 3.2 a 5.6% en sistema silvopastoril de este rancho. En los primeros 20 cm de profundidad el sistema de monocultivo presentó un promedio mayor al sistema silvopastoril (Figura 5A). Este resultado puede relacionarse a que el ganado bovino permanece mayor tiempo de pastoreo en el sistema en monocultivo de pasto aportando mayor cantidad de materia orgánica por la defecación y orina, sin embargo, el pastoreo del ganado puede influir en la densidad aparente del suelo.

En el Rancho Llano Alto, los resultados del ANOVA indicaron diferencia estadística significativa entre sistemas ganaderos ( $F=18.82$ ,  $p=0.00$ ). Sin embargo, esta diferencia solamente se reflejó a la profundidad de 50 cm donde el MP superó a SSP. En esta profundidad el sistema de monocultivo de pasto presentó mayor concentración de COS, que fue de 3.1% a 3.2% y en silvopastoril 2.5% a 3.1% (Figura 5B).

En el rancho Independencia, los resultados del ANOVA indicaron que no existe diferencia estadística entre sistemas ganaderos en cada rango de profundidad de suelo. Los valores de media y sus respectivos intervalos de confianza entre SSP y MP, no arrojaron una diferencia entre sistemas ganaderos (Figura 5C). La concentración de COS disminuyó en ambos sistemas ganaderos en relación con la profundidad de muestreo ( $F= 41.42$ ,  $p=0.00$ ).



**Figura 5.** Concentración de COS (%) en cinco profundidades de suelo entre sistema silvopastoril y monocultivo de pasto de tres ranchos ganaderos de la región Frailesca de Chiapas: A) San Ramón, B) Llano Alto, C) Independencia. Las barras de error indican los respectivos intervalos de confianza. NS = No significativo (Tukey  $p > 0.05$ ) entre sistemas en cada categoría profundidad. Diferentes letras mayúsculas indican diferencia estadística entre profundidad en SSP y las minúsculas indican diferencia estadística entre profundidad dentro del sistema MP. El \* indica diferencia estadística entre sistemas.

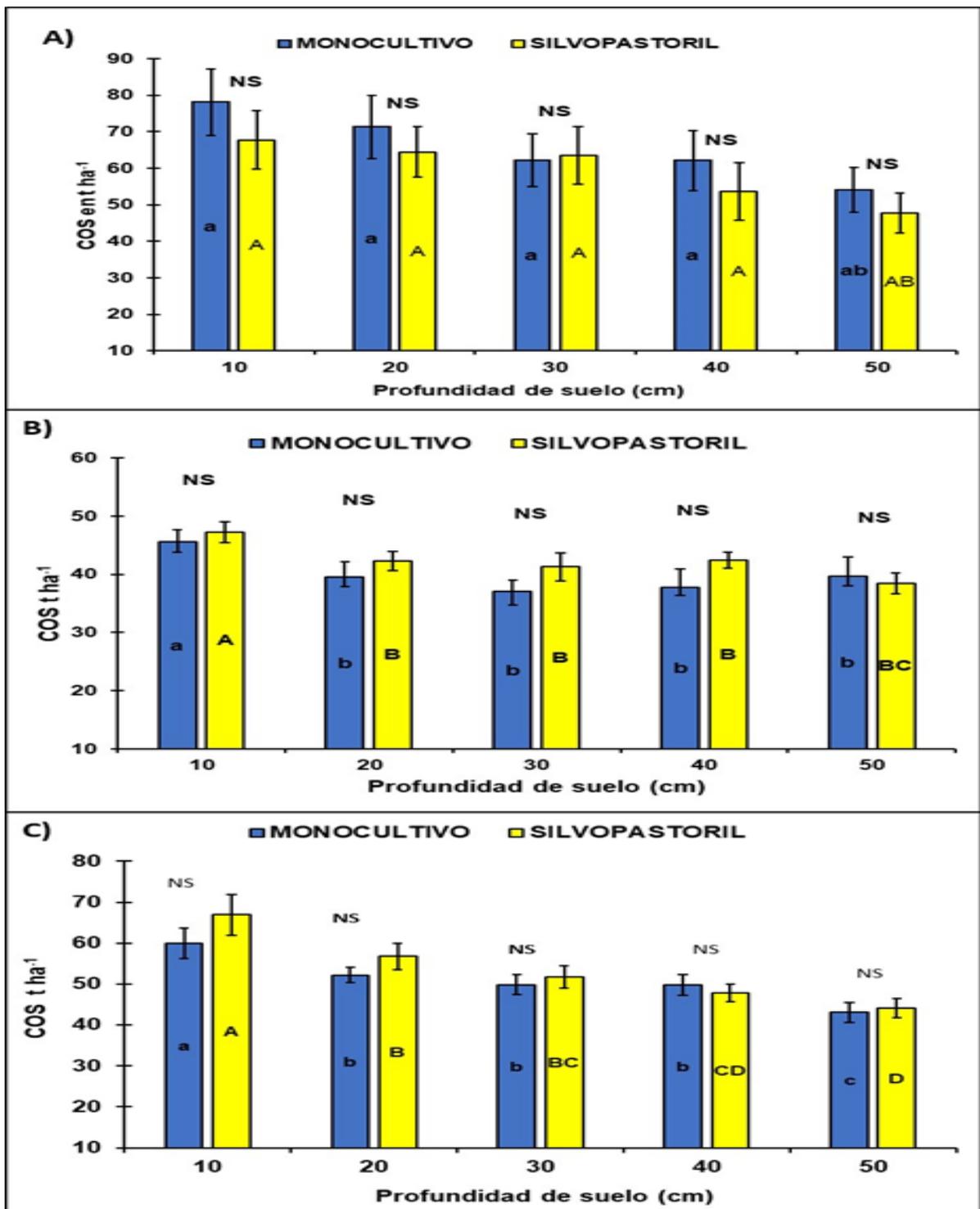
Con respecto a la cantidad de COS en  $t\ ha^{-1}$  acumulado en el suelo por sistema y rancho ganadero, se encontraron los siguientes resultados:

Los ANOVA mostraron diferencias significativas entre profundidad ( $F=7.899$ ,  $p=0.00$ ) pero no se encontró diferencia estadística significativa entre sistemas ganaderos ( $F=3.96$ ,  $p=0.05$ ).

En el sistema de monocultivo del rancho San Ramón en la profundidad de 10 cm se obtuvo  $78.1\ t\ ha^{-1}$  de COS comparado con el SSP con  $67.7\ t\ ha^{-1}$  (Figura 6A). Estos valores indicaron que el MP almacenó mayor cantidad de carbono orgánico en el suelo que en el sistema silvopastoril en la capa más superficial del suelo.

En el rancho Llano Alto, el ANOVA arrojó resultados significativos entre profundidad ( $F=19.52$ ,  $p=0.00$ ), con un promedio de  $45.6\ t\ ha^{-1}$  a  $39.7\ t\ ha^{-1}$  en monocultivo y  $47.3\ t\ ha^{-1}$  a  $38.5\ t\ ha^{-1}$  en SSP, y con una tendencia a disminuir con respecto a la profundidad de muestreo. Sin embargo, el ANOVA indicó que no existe diferencia significativa entre sistemas ganaderos ( $F=2.82$ ,  $p=0.09$ ) (Figura 6B).

Con respecto al rancho Independencia, el ANOVA indicó que no existe diferencia significativa entre MP vs SSP ( $F=2.82$ ,  $p=0.09$ ) en la variable almacenamiento de C en  $t\ ha^{-1}$ . Sin embargo, la diferencia fue significativa entre profundidad de muestreo ( $F=19.52$ ,  $p=0.00$ ). El carbono en suelo fue disminuyendo con respecto a la profundidad de muestreo en monocultivo con variaciones de  $59.9\ t\ ha^{-1}$  a  $43.1\ t\ ha^{-1}$  y en SSP de  $66.9$  a  $44.2\ t\ ha^{-1}$  (Figura 6C).



**Figura 6.** Almacén de carbono orgánico del suelo en  $t\ ha^{-1}$  en cinco profundidades de suelo de tres ranchos ganaderos de la región Frailesca de Chiapas. A) San Ramón, B) Llano Alto, C) Independencia. Las barras de error indican los respectivos intervalos de confianza. NS = No significativo (Tukey  $p > 0.05$ ) entre sistemas en cada categoría profundidad. Diferentes letras mayúsculas indican diferencia estadística entre profundidad en SSP y las minúsculas indican diferencia estadística entre profundidad dentro del sistema MP.

## 4.2 Contenido de nitrógeno por sistema ganadero

Los resultados que se obtuvieron del contenido (g) de nitrógeno (N) por kg de suelo por cada rancho y sistema ganadero fueron los siguientes:

Los promedios de contenido de nitrógeno variaron de 0.27 a 2.20 g N por kg de suelo. En el rancho San Ramón, el ANOVA indicó que no hubo diferencia estadística significativa ( $F=6.27$ ,  $p=0.22$ ) entre sistemas. En Llano Alto no se encontró diferencia estadística significativa ( $F=0.00$ ,  $p=0.99$ ) entre sistemas. De la misma manera, en Independencia el ANOVA arrojó que no existe diferencia significativa entre sistemas ( $F=2.236$ ,  $p=0.144$ ).

**Cuadro 1.** Contenido de Nitrógeno (g de N/kg de suelo) por sistema y rancho ganadero.

Sistema y profundidad	SAN RAMON			LLANO ALTO			INDEPENDENCIA			
	Media	I C al 95%		Media	I C al 95%		Media	I C al 95%		
		Límite inferior	Límite superior		Límite inferior	Límite superior		Límite inferior	Límite superior	
MP	00-10	1.61 <sup>a</sup>	1.42	1.79	0.88 <sup>a</sup>	0.44	1.33	2.20 <sup>a</sup>	1.86	2.54
	10-20	1.07 <sup>b</sup>	0.89	1.26	0.43 <sup>a</sup>	-0.02	0.87	1.30 <sup>b</sup>	0.96	1.64
	20-30	0.65 <sup>c</sup>	0.47	0.84	0.27 <sup>a</sup>	-0.18	0.71	0.86 <sup>b</sup>	0.52	1.20
	30-40	0.58 <sup>c</sup>	0.40	0.77	0.27 <sup>a</sup>	-0.17	0.72	0.70 <sup>b</sup>	0.36	1.04
	40-50	0.59 <sup>c</sup>	0.41	0.78	0.30 <sup>a</sup>	-0.15	0.74	0.49 <sup>c</sup>	0.14	0.83
		<b>0.90<sup>A</sup></b>	<b>0.79</b>	<b>1.02</b>	<b>0.43<sup>A</sup></b>	<b>0.23</b>	<b>0.63</b>	<b>1.11<sup>A</sup></b>	<b>0.96</b>	<b>1.26</b>
SSP	00-10	1.43 <sup>a</sup>	1.25	1.60	0.65 <sup>a</sup>	0.11	1.20	2.02 <sup>a</sup>	1.78	2.27
	10-20	0.90 <sup>b</sup>	0.72	1.07	0.46 <sup>a</sup>	-0.08	1.00	0.94 <sup>b</sup>	0.69	1.18
	20-30	0.47 <sup>c</sup>	0.30	0.65	0.40 <sup>a</sup>	-0.14	0.94	0.82 <sup>b</sup>	0.58	1.06
	30-40	0.40 <sup>c</sup>	0.23	0.58	0.33 <sup>a</sup>	-0.21	0.88	0.61 <sup>b</sup>	0.36	0.85
	40-50	0.41 <sup>c</sup>	0.24	0.59	0.30 <sup>a</sup>	-0.25	0.84	0.48 <sup>b</sup>	0.24	0.72
		<b>0.72<sup>B</sup></b>	<b>0.63</b>	<b>0.82</b>	<b>0.43<sup>A</sup></b>	<b>0.19</b>	<b>0.67</b>	<b>0.97<sup>A</sup></b>	<b>0.86</b>	<b>1.08</b>

Las letras mayúsculas indican diferencia estadística entre sistemas ganaderos y las minúsculas indican diferencias entre profundidad de cada sistema. MP= monocultivo de pasto, SSP= sistema silvopastoril, IC= intervalo de confianza.

### 4.3 Relación C:N entre sistema (silvopastoril vs monocultivo) por rancho ganadero

Respecto a la relación C:N por rancho ganadero, el ANOVA indicó que no existe diferencia significativa entre sistemas, tampoco entre profundidad de muestreo del suelo de los tres ranchos ganaderos. Sin embargo, la relación C:N aumentó numéricamente con la profundidad de suelo en ambos sistemas (Cuadro 2). Se esperaba una mejoría en la relación C:N en el sistema silvopastoril ya que la producción y acumulación de biomasa en monocultivo es más limitada y en el sistema silvopastoril este elemento lo inmoviliza la hojarasca y la MO del suelo.

**Cuadro 2.** Relación C:N por sistema y rancho ganadero.

Sistema	Profundidad	SAN RAMÓN			LLANO ALTO			INDEPENDENCIA		
		Media	I C al 95%		Media	I C al 95%		Media	I C al 95%	
			Límite inferior	Límite superior		Límite inferior	Límite superior		Límite inferior	Límite superior
MCP	0-10	33.7 <sup>a</sup>	23.6	48.3	41.5 <sup>a</sup>	19.2	89.9	19.4 <sup>a</sup>	12.0	31.4
	10-20	46.8 <sup>a</sup>	32.7	67.1	63.0 <sup>a</sup>	29.1	136.3	26.6 <sup>a</sup>	16.5	43.2
	20-30	60.6 <sup>a</sup>	42.4	86.8	96.7 <sup>a</sup>	44.7	209.3	36.2 <sup>a</sup>	22.5	58.7
	30-40	53.2 <sup>a</sup>	37.2	76.2	98.5 <sup>a</sup>	45.5	213.1	42.1 <sup>a</sup>	26.1	68.2
	40-50	32.1 <sup>a</sup>	19.4	53.4	89.1 <sup>a</sup>	41.2	192.9	50.5 <sup>a</sup>	31.2	81.6
		<b>43.9<sup>A</sup></b>	<b>31.0</b>	<b>66.4</b>	<b>74.0<sup>A</sup></b>	<b>36.0</b>	<b>168.3</b>	<b>33.1<sup>A</sup></b>	<b>21.7</b>	<b>56.6</b>
SSP	0-10	34.2 <sup>a</sup>	25.6	45.9	44.7 <sup>a</sup>	17.4	115.1	21.1 <sup>a</sup>	15.0	29.6
	10-20	43.1 <sup>a</sup>	32.2	57.8	58.5 <sup>a</sup>	22.7	150.6	43.5 <sup>a</sup>	31.0	61.1
	20-30	62.3 <sup>a</sup>	43.5	89.2	59.0 <sup>a</sup>	22.9	151.8	38.5 <sup>a</sup>	27.5	54.2
	30-40	64.7 <sup>a</sup>	45.2	92.6	71.1 <sup>a</sup>	27.6	183.0	47.4 <sup>a</sup>	33.8	66.7
	40-50	63.6 <sup>a</sup>	47.5	85.3	75.6 <sup>a</sup>	29.4	194.6	57.3 <sup>a</sup>	40.8	80.5
		<b>51.9<sup>A</sup></b>	<b>38.8</b>	<b>74.2</b>	<b>60.8<sup>A</sup></b>	<b>24.0</b>	<b>159.0</b>	<b>39.5<sup>A</sup></b>	<b>29.6</b>	<b>58.4</b>

Las letras mayúsculas indican diferencia estadística entre sistemas ganaderos y las minúsculas indican diferencias entre profundidades de cada sistema. MP= monocultivo de pasto, SSP= sistema silvopastoril, IC= intervalo de confianza.

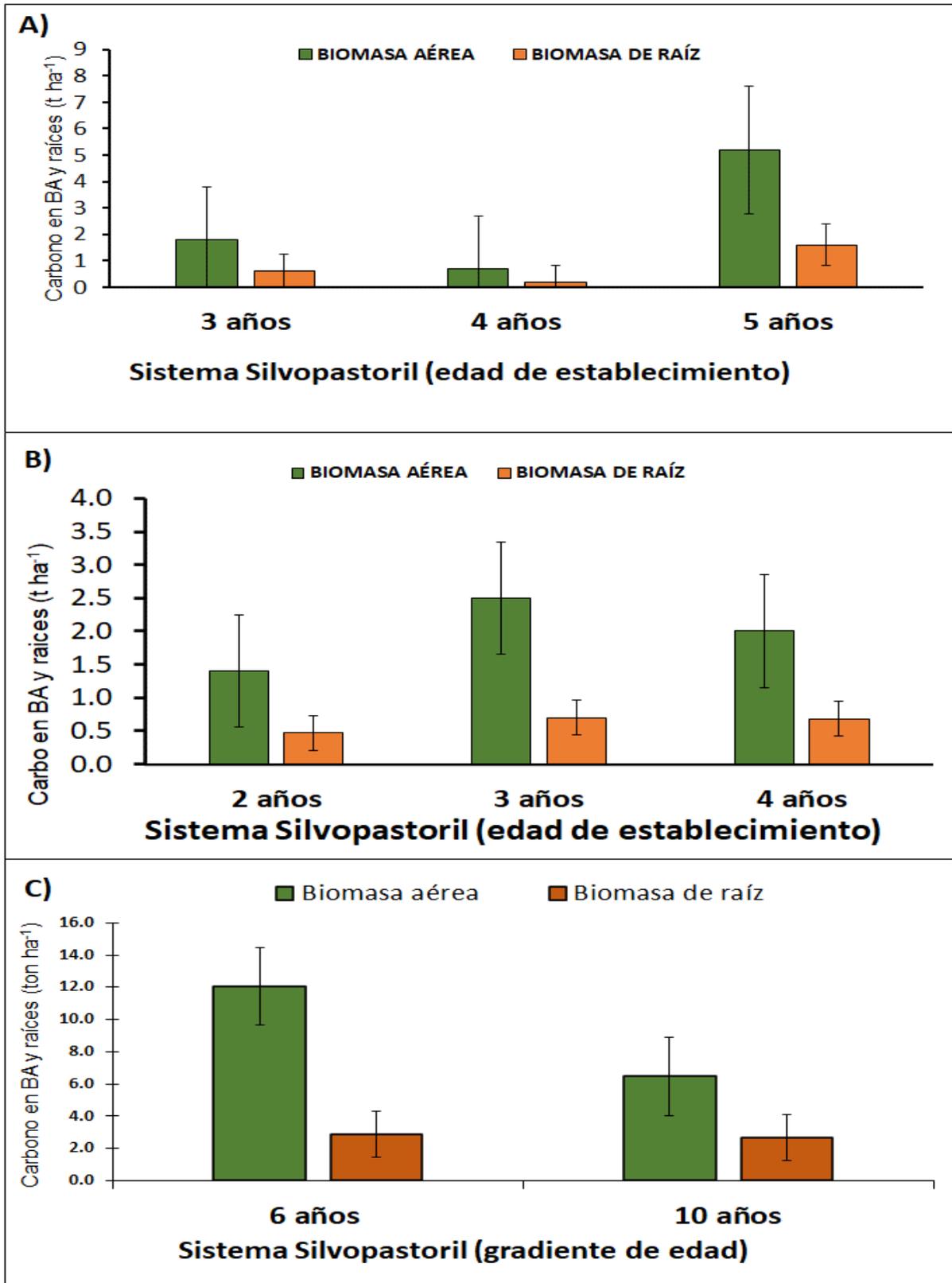
#### **4.4. Carbono almacenado en biomasa aérea y subterránea en Sistema Silvopastoril por fecha de establecimiento**

El carbono en la biomasa aérea (BA) del sistema silvopastoril del rancho San Ramón resultó con 1.8, 0.8 y 5.2 t ha<sup>-1</sup> de C para los sistemas de 3, 4 y 5 años de edad respectivamente. Respecto a la biomasa de raíz (BR), el carbono incrementa en los sistemas de 5 años de establecimiento de cada SSP (Figura 7A).

Los datos que se obtuvieron en el rancho Llano Alto para la biomasa aérea fueron de 1.4 t ha<sup>-1</sup>, 2.5 t ha<sup>-1</sup> y 2.0 t ha<sup>-1</sup> en 2, 3 y 4 años respectivamente (Figura 7B). El aumento de carbono en la parcela de tres años probablemente se debe a varios factores, entre ellos la edad de los árboles, densidad de plantas de *L. leucocephala* y aunado el pastoreo del ganado que coincidió con la fecha de muestreo de biomasa. En la biomasa subterránea, la cantidad de C fue de 0.5 t ha<sup>-1</sup> 0.7 t ha<sup>-1</sup> y 0.8 t ha<sup>-1</sup> incrementando con la fecha de establecimiento del SSP.

En el rancho Independencia, la biomasa aérea en la parcela establecida en el año 2012 fue de 6.46 t ha<sup>-1</sup> y en la parcela de fecha 2016 se obtuvo 12.04 t ha<sup>-1</sup>. La diferencia del carbono almacenado en biomasa aérea entre años de siembra puede deberse a que la parcela con fecha 2016 tiene mayor densidad de plantas, lo que contribuye a obtener mayor biomasa y por tanto, mayor carbono almacenado.

Con respecto a la biomasa subterránea de este mismo rancho, se obtuvo 2.68 t ha<sup>-1</sup> y 2.90 t ha<sup>-1</sup> del SSP de 10 y 6 años respectivamente (Figura 7C). El ANOVA con respecto a estos resultados indicó diferencia estadística significativa en biomasa aérea y sin diferencia estadística significativa para biomasa de raíces.



**Figura 7.** Carbono en biomasa aérea y subterránea en el sistema silvopastoril de tres ranchos ganaderos. A) San Ramón, B) Llano Alto, C) Independencia. Las barras de error indican los respectivos intervalos de confianza de 95%.

#### 4.5 Biomasa de raíces finas por sistema (monocultivo vs silvopastoril)

Respecto a los ranchos de San Ramón y Llano alto no se encontró diferencia estadística significativa entre sistemas ganaderos, sin embargo, en Independencia los resultados indicaron diferencia estadística entre sistemas ganaderos en la cantidad de raíces finas (Cuadro 3).

Los resultados que se obtuvieron en los ranchos San Ramón y Llano Alto muestran que no existe diferencia significativa entre profundidad de suelo. Sin embargo, el rancho Independencia arrojó mayor biomasa de raíces finas a la profundidad de 0-10 cm comparado con capas más profundas en ambos sistemas ganaderos (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Biomasa de raíces finas en t ha<sup>-1</sup> por sistema y rancho ganadero en la Frailesca, Chiapas.

SISTEMA	PROFUNDIDAD (cm)	SAN RAMÓN			LLANO ALTO			INDEPENDENCIA		
		Media raíces finas	IC al 95% Límite inferior	IC al 95% Límite superior	Media raíces finas	IC al 95% Límite inferior	IC al 95% Límite superior	Media raíces finas	IC al 95% Límite inferior	IC al 95% Límite superior
M P	0-10	1.505 <sup>a</sup>	0.475	2.535	1.445 <sup>a</sup>	0.317	2.573	5.333 <sup>a</sup>	3.845	6.82
	10-20	0.197 <sup>a</sup>	-0.992	1.387	0.585 <sup>a</sup>	-0.796	1.967	2.530 <sup>ab</sup>	1.199	3.861
	20-30	0.123 <sup>a</sup>	-1.333	1.58	0.299 <sup>a</sup>	-1.655	2.253	1.327 <sup>b</sup>	-0.004	2.658
	30-40	0.148 <sup>a</sup>	-1.308	1.604	0.362 <sup>a</sup>	-1.386	2.11	1.432 <sup>b</sup>	-0.056	2.919
	40-50	0	0	0	0.163 <sup>a</sup>	-1.315	1.64	0.766 <sup>b</sup>	-0.636	2.169
			<b>0.358<sup>A</sup></b>	<b>-0.003</b>	<b>0.718</b>	<b>0.571<sup>A</sup></b>	<b>-0.129</b>	<b>1.27</b>	<b>2.278<sup>A</sup></b>	<b>1.647</b>
SSP	0-10	1.102 <sup>a</sup>	0.507	1.696	3.271 <sup>a</sup>	2.092	4.449	4.003 <sup>a</sup>	3.126	4.881
	10-20	0.893 <sup>a</sup>	0.207	1.58	0.334 <sup>a</sup>	-1.048	1.716	1.421 <sup>b</sup>	0.524	2.318
	20-30	0.592 <sup>a</sup>	-0.136	1.32	0.767 <sup>a</sup>	-0.981	2.515	0.564 <sup>b</sup>	-0.457	1.584
	30-40	0.266 <sup>a</sup>	-0.655	1.188	0.248 <sup>a</sup>	-2.516	3.012	0.521 <sup>b</sup>	-0.646	1.688
	40-50	0.109 <sup>a</sup>	-0.813	1.03	0.076 <sup>a</sup>	-1.878	2.03	0.288 <sup>b</sup>	-0.879	1.455
			<b>0.465<sup>A</sup></b>	<b>0.257</b>	<b>0.673</b>	<b>0.939<sup>A</sup></b>	<b>0.421</b>	<b>1.783</b>	<b>1.359<sup>B</sup></b>	<b>0.897</b>

Las letras mayúsculas indican diferencia estadística entre sistemas ganaderos y las minúsculas indican diferencias entre profundidad de cada sistema. MP= monocultivo de pasto, SSP= sistema silvopastoril, IC= intervalo de confianza.

#### 4.6 Carbono almacenado en biomasa de pasto y hojarasca de tres ranchos ganaderos

Los resultados muestran que el carbono en los componentes de pasto y hojarasca obtenidos en el Rancho Llano Alto que hay diferencia estadística significativa (F=7.19, p=0.01; F=5.88, p=0.02). En ambos componentes fue mayor el sistema de MP. Esto indica que el pasto en monocultivo también tiene un potencial para almacenar carbono.

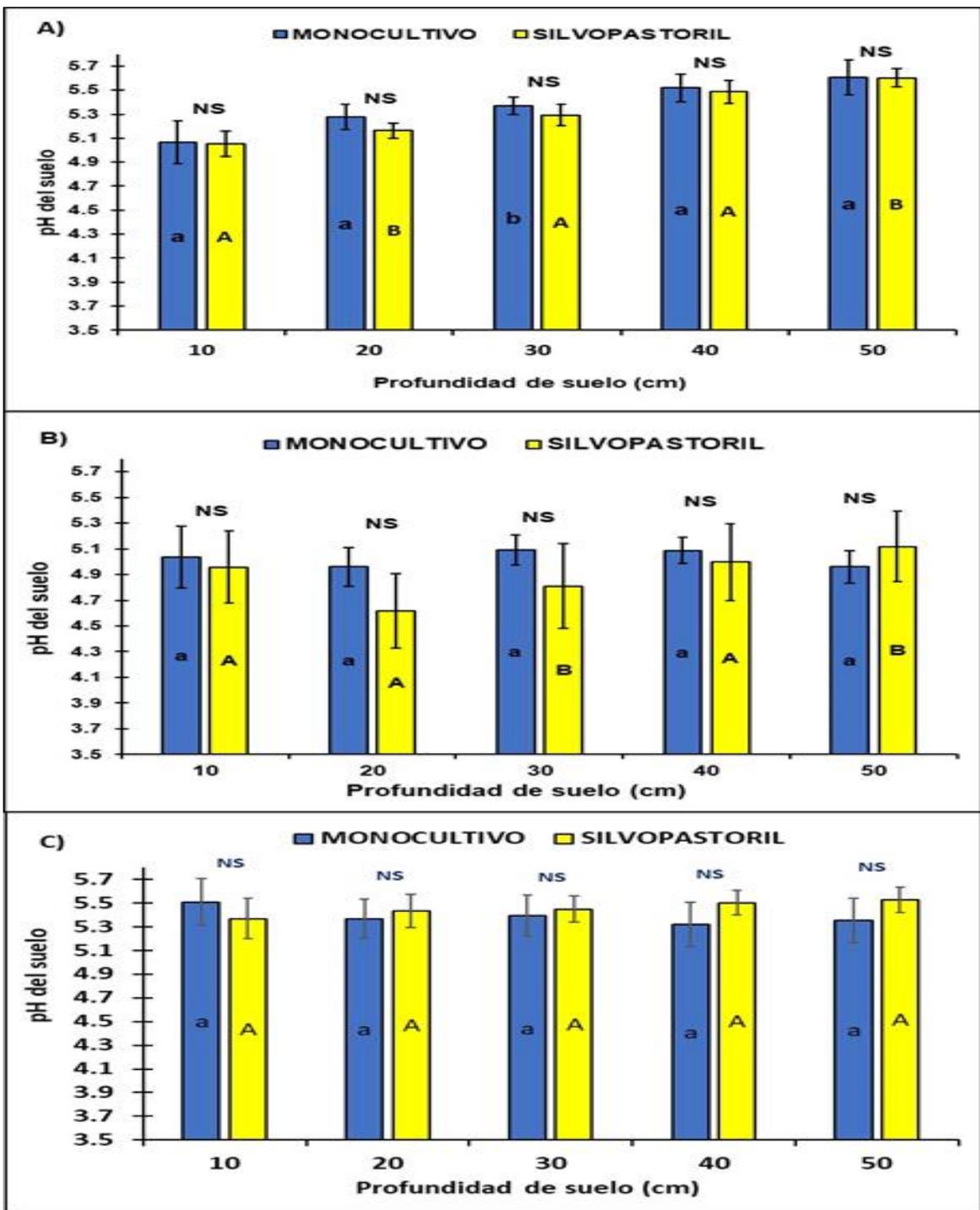
En el rancho Independencia, el ANOVA indicó que para el carbono en biomasa de pasto del SSP no se encontró diferencia estadística significativa ( $F=3.77$ ,  $p=0.05$ ). Sin embargo, en el componente hojarasca si hubo diferencia estadística significativa ( $F=6.67$ ,  $p=0.01$ ) entre sistemas ganaderos. En ambos componentes del rancho San Ramón los resultados fueron similares; sólo se observó una mínima diferencia numérica mayor en SSP (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Carbono en biomasa de pasto y hojarasca en  $t\ ha^{-1}$  por sistema y rancho ganadero en la Frailesca, Chiapas.

Sistema y rancho	Carbono en biomasa de pasto ( $t\ ha^{-1}$ )			Carbono en hojarasca ( $t\ ha^{-1}$ )		
	Media	Intervalo de confianza al 95%		Media	Intervalo de confianza al 95%	
		Límite inferior	Límite superior		Límite inferior	Límite superior
<b>Rancho Llano Alto</b>						
MONOCULTIVO	2.195	1.810	2.581	1.127	0.887	1.366
SILVOPASTORIL	1.491	1.105	1.876	0.730	0.491	0.970
<b>Rancho Independencia</b>						
MONOCULTIVO	1.078	0.762	1.393	0.681	0.226	1.137
SILVOPASTORIL	1.447	1.224	1.670	1.391	1.069	1.713
<b>Rancho San Ramón</b>						
MONOCULTIVO	2.054	0.400	3.708	2.054	0.400	3.708
SILVOPASTORIL	2.286	0.633	3.940	2.286	0.633	3.940

#### 4.7 Propiedades Físicas y Químicas del Suelo

Los resultados del análisis de pH del suelo indicaron valores de 5.1 a 5.3 en el rancho San Ramón, 4.2 a 5.1 en rancho Llano Alto y de 5.4 a 5.5 en rancho Independencia (Figura 8). Por los valores reportados y de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002), el suelo se considera moderadamente ácido. El ANOVA indicó que no hubo diferencia estadística significativa entre sistemas ganaderos, solo entre profundidades.



**Figura 8.** pH del suelo de tres ranchos ganaderos de la región Frailesca de Chiapas: A) San Ramón, B) Llano Alto, C) Independencia. Las barras de error indican los respectivos intervalos de confianza de 95%. NS = No significativo (Tukey  $p > 0.05$ ) entre sistemas en cada categoría profundidad. Diferentes letras mayúsculas indican diferencia estadística entre profundidad en SSP y las minúsculas indican diferencia estadística entre profundidad dentro del sistema MP.

Con respecto a la variable densidad aparente, los resultados del ANOVA indican diferencia estadística significativa entre sistema ganadero en el rancho Llano Alto

( $F=18.82$ ,  $p= 0.00$ ) y no hubo diferencia entre la profundidad de cada sistema. En el SSP de rancho Llano Alto se observó mayores promedios (Cuadro 5), lo que puede ser atribuible a la especie *L. leucocephala*, la cual se sabe que por su adaptabilidad mejora las condiciones físicas del suelo a través del efecto de recambio de las raíces.

**Cuadro 5.** Valores de densidad aparente del suelo en dos sistemas de tres ranchos ganaderos, en la Frailesca, Chiapas.

	PROFUNDIDAD DE SUELO	SAN RAMON		LLANO ALTO		INDEPENDENCIA	
		DA gr/cm <sup>3</sup>	I C 95%	DA gr/cm <sup>3</sup>	I C 95%	DA gr/cm <sup>3</sup>	I C 95%
<b>MONOCULTIVO</b>	10	1.2	0.68	1.5	0.04	1.2	0.08
	20	1.3	0.74	1.4	0.06	1.3	0.05
	30	1.4	0.80	1.4	0.06	1.4	0.06
	40	1.5	0.85	1.4	0.07	1.5	0.05
	50	1.6	0.89	1.3	0.05	1.5	0.04
<b>SILVOPASTORIL</b>	10	1.2	0.69	1.6	0.03	1.4	0.03
	20	1.4	0.76	1.6	0.05	1.5	0.04
	30	1.4	0.79	1.5	0.03	1.5	0.03
	40	1.4	0.81	1.6	0.02	1.4	0.05
	50	1.5	0.84	1.5	0.05	1.4	0.03

Los valores del potencial redox del suelo (Eh) en rancho San Ramón fue de 133.2 mV en monocultivo y 127.7 mV en SSP. En Llano Alto, Eh fue 133.3 mV y 130.4 mV SSP (Cuadro 6). El ANOVA de estos resultados indicó que no hubo diferencia estadística entre sistema ganadero y entre profundidad de muestreo de suelo ( $p>0.05$ ) para estos dos sistemas y ranchos ganaderos. Sin embargo, en el rancho Independencia, esta misma variable presentó valores de 126.3 mV para monocultivo y 114.0 mV para SSP. Los resultados del ANOVA indicaron una diferencia significativa entre sistemas y en las profundidades de 30-40 y 40-50 cm.

**Cuadro 6.** Potencial redox del suelo en dos sistemas de tres ranchos ganaderos de la Frailesca, Chiapas.

SISTEMA	PROFUNDIDAD DE SUELO	SAN RAMON			LLANO ALTO			INDEPENDENCIA		
		IC 95%			IC 95%			IC 95%		
		Eh (Mv)	SUP	INF	Eh (Mv)	SUP	INF	Eh (Mv)	SUP	INF
MONOCULTIVO	10	133.2	143.8	122.6	133.3	142.4	124.1	119.0	131.6	106.4
	20	121.7	133.5	109.8	138.6	144.1	133.0	127.7	138.2	117.1
	30	113.4	126.1	100.8	131.6	136.3	126.9	126.6	137.4	115.9
	40	106.4	121.1	91.6	131.9	136.2	127.7	129.9	140.9	119.0
	50	100.2	117.0	83.4	140.4	146.7	134.0	128.3	139.1	117.5
SILVOPASTORIL	10	127.7	134.6	120.7	130.4	140.9	120.0	118.2	126.4	110.0
	20	111.5	131.5	91.4	145.1	156.6	133.5	114.5	120.1	108.9
	30	103.6	122.5	84.8	135.7	148.2	123.2	114.6	118.4	110.8
	40	100.9	107.0	94.8	126.3	138.3	114.3	111.9	115.3	108.6
	50	93.1	100.3	85.9	121.5	131.9	111.1	110.6	114.1	107.1

#### 4.8 Almacén total de carbono por sistema

La cantidad total de carbono por sistema y rancho ganadero fue 332.9 t ha<sup>-1</sup> en silvopastoril y 332.3 t ha<sup>-1</sup> en monocultivo del rancho San Ramón. En el rancho Llano Alto, los resultados fueron en el SSP de 220.2 t ha<sup>-1</sup> comparado con 205.1 t ha<sup>-1</sup> de MP. Finalmente, en el rancho Independencia los resultados en el sistema silvopastoril con 268.4 t ha<sup>-1</sup> contra 264.2 t ha<sup>-1</sup> en MP (Cuadro 7). En los tres ranchos, fue mayor el C total almacenado en los SSP.

**Cuadro 7.** Carbono total almacenado en cada reservorio por sistema y rancho ganadero de la región Frailesca de Chiapas.

RANCHO	SISTEMA	SUELO	BA	BR	RAÍCES FINAS	PASTO	HOJARASCA	TOTAL
SAN RAMON	SILVOPASTORIL	324.1	2.3	0.7	2.4	2.3	1.2	<b>332.9</b>
	MONOCULTIVO	327.6	0.0	0.0	1.8	2.1	0.8	<b>332.3</b>
LLANO ALTO	SILVOPASTORIL	211.7	2.0	0.6	3.6	1.5	0.7	<b>220.2</b>
	MONOCULTIVO	199.6	0.0	0.0	2.1	2.2	1.2	<b>205.1</b>
INDEPENDENCIA	SILVOPASTORIL	246.8	9.2	2.6	6.8	1.4	1.4	<b>268.4</b>
	MONOCULTIVO	254.8	0.0	0.0	16.0	1.1	0.7	<b>264.2</b>

BA= Biomasa Aérea BR=Biomasa de Raíz

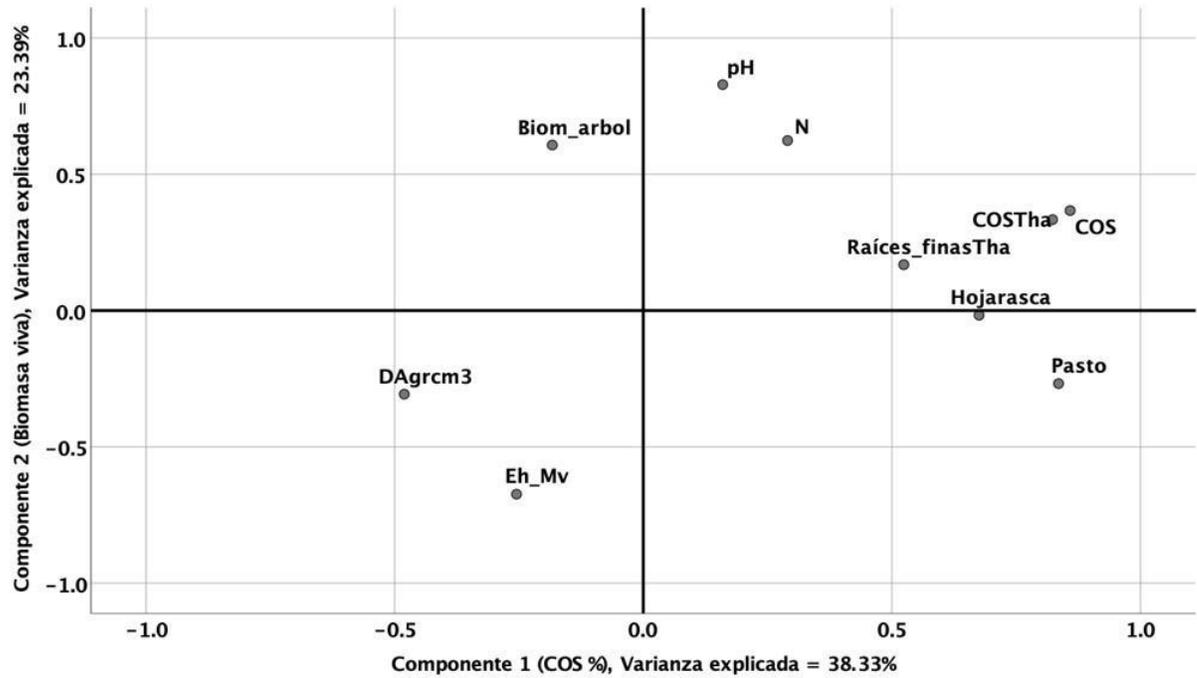
#### 4.9 Relación entre las variables de almacenamiento de carbono y propiedades de suelo

Los resultados del análisis de componentes principales mostraron que dos componentes principales en conjunto explicaron 56.22% de varianza. El componente 1 explica 32.83% de varianza mientras el componente 2 explica 23.39% de varianza total. En el (Cuadro 8) se puede ver la correlación entre variables y los componentes principales. En el eje X, se demuestra el componente 1, que correlaciona con las variables de almacenamiento de carbono en suelo y en el eje Y el componente 2 que correlaciona con la variable de biomasa arbórea y de pasto (Figura 9). Las variables contenido de carbono orgánico de suelo (%), almacenamiento de COS, biomasa de raíces finas, contenido de nitrógeno y cantidad de hojarasca correlacionaron positivamente con el componente 1, mientras, las variables pH, biomasa arbórea y biomasa de pasto correlacionaron con el componente 2 entre cada una de las variables (Anexo 5).

**Cuadro 8.** Matriz de correlación entre componentes principales y las variables de carbono y propiedades de suelo, generado por el análisis de componentes principales.

##### **Correlación entre componentes principales y variables**

	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>
pH del suelo	0.574	<b>-0.619</b>
Potencial redox del suelo, Eh (Mv)	-0.573	0.437
Carbono orgánico del suelo (%)	<b>0.923</b>	0.143
Densidad aparente del suelo (gr/cm <sup>3</sup> )	-0.57	0.006
Almacén de carbono orgánico del suelo (t ha <sup>-1</sup> )	<b>0.875</b>	0.153
Biomasa de raíces finas (t ha <sup>-1</sup> )	<b>0.534</b>	0.135
Biomasa arbórea (t ha <sup>-1</sup> )	0.166	<b>-0.612</b>
Contenido de nitrógeno en el suelo (%)	<b>0.576</b>	-0.375
Biomasa de pasto (t ha <sup>-1</sup> )	0.567	<b>0.669</b>
Hojarasca (t ha <sup>-1</sup> )	<b>0.564</b>	0.372



**Figura 9.** Biplot de relaciones entre dos factores generados por el análisis de componentes principales. DA = densidad aparente de suelo, Eh = potencial redox de suelo, Biom\_árbol = biomasa arbórea, pH de suelo, Nitrógeno total, Biomasa de raíces finas, Biomasa de hojarasca, Carbono orgánico del suelo en  $\text{tha}^{-1}$  y % de Carbono orgánico. El componente uno explica 38.33 % de varianza, componente 23.39 % de varianza.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1 Carbono orgánico del suelo por sistema ganadero

Los resultados mostraron que el sistema de MP acumuló mayor cantidad de carbono orgánico del suelo que el SSP de los tres ranchos ganaderos de este estudio. Estos resultados no fueron los esperados, en este sentido, se rechaza nuestra hipótesis de que los SSP aumentan el carbono almacenado en el suelo.

Contreras-Santos *et al.* (2020) realizaron un estudio para comparar un SSP y un MP en el Caribe Colombiano cuyas condiciones climáticas son similares a la zona de estudio de esta investigación, donde obtuvieron 65.1 t ha<sup>-1</sup> y 38.3 t ha<sup>-1</sup> de carbono almacenado respectivamente, resaltando que en sus resultados el SSP representó 69.9 % más que el carbono almacenado en el MP. En este estudio el rancho donde mayor diferencia hubo fue San Ramón, con 15.3% más carbono almacenado en el MP que en el SSP. Sin embargo, los resultados de Carbono del SSP del rancho Llano Alto 47.3 a 38.5 t ha<sup>-1</sup>, son similares a los encontrados por Timoteo (2016), quien reportó en promedio 37.20 t ha<sup>-1</sup> en un SSP de la amazonía peruana en el tercer año de su establecimiento. En Llano Alto se obtuvo un 3.7% más de carbono almacenado en el SSP que en el MP, demostrando que si hay una mayor contribución con el establecimiento de los SSP. En el caso del rancho independencia se obtuvo más cantidad de carbono almacenado por ha en SSP.

Además, se encontró una tendencia a disminuir la cantidad de carbono a medida que se incrementa la profundidad del muestreo. Esto se debe a que la materia orgánica disminuye de manera natural a medida que aumenta la profundidad del muestreo en ambos sistemas por la disminución de la hojarasca. Además, la caída de hojarasca, producción y recambio de raíces finas son mayores en capas superiores de suelo y capas inferiores (Morales-Ruiz *et al.*, 2021, Valenzuela-Que *et al.*, 2022).

Los resultados de COS en el rancho Llano Alto no tuvieron una diferencia clara entre profundidades, lo cual puede atribuirse al proceso de labranza que se realizó antes del

establecimiento de ambos sistemas, en el cual, el suelo fue lavado e invertido mezclando, hasta 50 cm de profundidad, este proceso de subsoleo no permitió tener una clara diferenciación en la acumulación de materia orgánica en el suelo. Contreras *et. al.* (2020) estudiaron los sistemas silvopastoriles a 22 años de establecidos y encontraron una diferencia clara entre SSP y MP. En esta investigación, los SSP son más jóvenes y es un corto periodo de años de establecimiento de cada sistema para encontrar una diferencia en la acumulación de carbono en el suelo.

Martínez (2020) y Morales *et al.*, (2021) mencionan que el COS se pierde por el cambio de uso del suelo, reportando que un SSP acumula mayor cantidad de carbono que un sistema de monocultivo de pasto. También existen otros factores que influyen que el COS se pierda, tales como respiración del suelo, entradas y salidas de MO, así también las condiciones físicas y biológicas de los suelos (Ibrahim, 2013; Crespo, 2008, Aryal *et al.*, 2007).

De acuerdo con los resultados del análisis de laboratorio y la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002), el suelo se considera con bajo contenido de nitrógeno en ambos sistemas ganaderos de los tres ranchos. Las concentraciones de N en las capas superiores (0-10,10-20 cm) de los ranchos San Ramón e Independencia, puede estar relacionado al manejo del pastoreo de ganado en el sistema de monocultivo, ya que fueron promedios numéricamente más elevados que los hallados en SSP. Sin embargo, la diferencia fue mínima en la capa superficial (0-10 cm) en los mismos ranchos con respecto al contenido de N, lo que se le puede atribuir a la presencia de *L. leucocephala*, especie fijadora de N atmosférico.

Los resultados que se obtuvieron del contenido de Nitrógeno en el suelo en San Ramón, Llano Alto e Independencia de ambos sistemas (SSP y MP) fueron menores a los reportados por Bueno y Camargo (2012) al evaluar el contenido de nitrógeno total en la etapa temprana de *L. leucocephala*. El contenido de materia orgánica en el sistema silvopastoril fue mayor por la presencia de hojarasca y fijación del nitrógeno, elemento principal que aporta la materia orgánica (Gamarra, 2018). Además, la sombra y la presencia de humedad de suelo favorecen las actividades de microorganismos, siendo esta actividad superior en el suelo de los SSP que en MP

(Adame-Castro *et al.*, 2020, Viruel *et al.*, 2021). Una mayor actividad microbiana puede promover el proceso de descomposición de materia orgánica en el suelo, así aumentar el flujo de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera por respiración heterotrófica (Villanueva-López *et al.*, 2016). Esto puede explicar nuestro resultado de que los sistemas silvopastoriles no reflejaron un aumento significativo de carbono orgánico en el suelo comparado con los monocultivos de pasto.

## **5.2 Carbono en biomasa arbórea y pasto**

En la biomasa arbórea del sistema silvopastoril del rancho Independencia, se encontró 12.04 t ha<sup>-1</sup> de carbono menor a lo que obtuvo Giraldo (2019) en SSP establecidos entre dos y 14 años bajo condiciones de la reserva natural en el Valle del Cauca Colombia, quien reportó 22.72 t ha<sup>-1</sup>. El sistema de pastizal de este mismo rancho reportó una cantidad de 0.8 t ha<sup>-1</sup> de carbono más bajo que el SSP, esto indica que la presencia de árboles de *Leucaena* en el sistema silvopastoril ayudó a incrementar la cantidad de carbono en biomasa viva. Caso contrario del sistema de monocultivo de pastizal donde la falta de árboles (componente leñoso) almacena menores cantidades de carbono en biomasa viva. Otro factor que favorece en el sistema silvopastoril es la edad de los árboles, altura y la densidad de siembra. El sistema de monocultivo de pasto sin árboles se ve afectado por el sobrepastoreo y en consecuencia menor cantidad de carbono en biomasa de plantas (Mora, 2019). Aunque en nuestro estudio no se logró apreciar los cambios significativos de carbono en suelo, se considera el componente arbóreo de los sistemas silvopastoriles como importantes sumideros de carbono desde el primer año de su establecimiento, pero según Timoteo (2016), disminuyen su capacidad de almacenamiento después de 11 años.

## **5.3 Variables edáficas**

Se espera que la asociación de una especie arbórea leguminosa en un sistema de monocultivo de gramíneas tenga un efecto positivo en la estructura, pH y otras propiedades del suelo. Los tres ranchos ganaderos en este estudio presentaron un valor de pH del suelo similar en las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm en ambos

sistemas, esto se debe a que existe una mayor actividad biológica en capas superiores que las de mayor profundidad (Di Gerónimo, *et al.*, 2015; Hernández-Chávez, *et al.*, 2008).

En esta investigación se encontró que el sistema silvopastoril contribuyó al mejoramiento del suelo a través del incremento de la materia orgánica así mismo el pH del suelo en el sistema silvopastoril mostró una tendencia a mejorar en comparación con monocultivo (Lok, *et al.*, 2013).

Al comparar los valores del pH del sistema silvopastoril vs monocultivo, a pesar de que no hubo una diferencia significativa, los resultados demuestran una tendencia que el SSP con la especie *L. leucocephala* beneficia en las propiedades del suelo (Hernández Chávez *et al.*, 2008; Mejía, *et al.*, 2018). Los cambios en la estructura y propiedades del suelo está influenciado por la edad de establecimiento del sistema, por el contrario, los sistemas de monocultivo intensivo deterioran el suelo ya que no hay incorporación de hojarasca y además contribuyen a la acidez del suelo (Bugarín *et al.*, 2010). En este mismo sentido (Montenegro, *et al.*, 2017), menciona que los árboles tienen una influencia favorable en la fertilidad de los suelos debido a los contenidos altos de MO, N, P, K, Ca y pH que resultaron altos en el SSP comparado con un MP. La relación C/N nos arroja datos del grado de mineralización de la materia orgánica y actividades enzimáticas en el suelo y la disponibilidad de elementos esenciales de las plantas (Soto, *et al.*, 2016).

La densidad aparente fue mayor en el sistema silvopastoril, condición que puede estar relacionada al manejo del sistema atribuyendo al mayor tiempo de pastoreo del ganado bajo la sombra de los árboles (Romero-Delgado, *et al.*, 2021) en este mismo sentido, Rodríguez (2013) reportó un grado de compactación media ( $1.58 \text{ g/cm}^3$ ) y lo relaciona con el componente leñoso que a mediano plazo contribuyen mejorando la DA del suelo, lo que concuerda con los resultados de los ranchos Llano Alto e Independencia con valores de  $1.56 \text{ g/cm}^3$  y  $1.44 \text{ g/cm}^3$ .

#### **5.4 Historia de usos del suelo y manejo del sistema en almacenamiento de carbono en el suelo**

El sistema silvopastoril del rancho San Ramón está dedicado principalmente al pastoreo del ganado ovino, aunque ocasionalmente es utilizado por los bovinos los cuales son atraídos por la leguminosa para consumirlo en épocas de sequía. A diferencia del MP donde los bovinos permanecen de manera constante, alimentándose durante todo el año. Por los resultados de la cantidad de carbono que se obtuvo en MP se puede deducir que la materia orgánica que introdujo el ganado por las heces y orinas son un factor benéfico para el suelo. En el rancho Llano Alto se detectó que el pastoreo del ganado en el MP permanece por más tiempo y en el SSP solo una vez por mes dejando descansar hasta que la leguminosa se recupera en follaje, lo cual permite que MP tiene mayor entrada de MO lo que explica los resultados de mayor cantidad de C en suelo del sistema de MP. Con respecto al manejo de los sistemas ganaderos en el rancho Independencia, los resultados favorecieron al SSP donde la cantidad de C en el suelo fue mayor.

#### **5.5 Limitaciones y fuentes de incertidumbre**

En los tres ranchos ganaderos que se consideraron para este estudio, no se obtuvo información de los análisis químicos del suelo, por lo tanto, faltó conocer sus propiedades como punto de partida. Otro factor que influyó en el rancho San Ramón fue que en el SSP de fecha 2018 y 2019 se murieron plantas ocasionando que la biomasa aérea disminuyera y por lo consiguiente también afectó la cantidad de carbono del suelo. En el rancho Llano Alto el aumento de COS en monocultivo se vio favorecido probablemente por los residuos del corral de ganado que se encuentra adyacente, específicamente a la parcela San Martín.

En el rancho Independencia la densidad de árboles de *Leucaena* favorece la biomasa en la parcela de gradiente bajo en comparación con la baja densidad de árboles en parcela de gradiente alto a pesar de que la edad de establecimiento es de más tiempo. No hubo registro de la fecha exacta de establecimiento de los árboles de gradiente alto.

## VI. CONCLUSIONES

El reservorio más grande de carbono en estos sistemas ganaderos fue el COS de los tres ranchos estudiados.

El SSP de Llano Alto e Independencia superó en la cantidad de COS a MP en los primeros 0-20 cm de profundidad.

El comportamiento del almacenamiento de carbono con la profundidad de suelo no fue consistente por la diferencia en el manejo y se comportó con una tendencia a disminuir en ambos sistemas de los tres ranchos.

La presencia de árboles contribuyó para que los sistemas silvopastoriles almacenaran mayor cantidad de carbono en biomasa viva aérea y subterránea. La biomasa arbórea aumento con la edad del SSP. Sin embargo, el cambio en la densidad de árboles por hectárea no permitió apreciar un crecimiento gradual en la biomasa leñosa con la edad de establecimiento del SSP.

Los resultados demostraron que los sistemas de MP pueden almacenar en el suelo igual cantidad de carbono que un SSP, lo que puede deducirse que un buen manejo de los pastos contribuye a la captura de carbono en suelo.

Los SSP retienen mayor carbono en la biomasa del componente arbóreo, haciendo un sistema con mayor actividad de captura de carbono y más resiliente ante el cambio climático.

Es recomendable estudiar otras variables como la historia de uso del suelo que ayuden a explicar el comportamiento del carbono en el suelo. Así mismo, las actividades de microorganismos y respiración heterotrófica del suelo pueden contribuir en mejorar nuestro entendimiento de la dinámica de carbono en estos sistemas ganaderos. En este estudio se comparó los MP adyacentes a SSP, pero sería importante considerar el análisis del suelo antes del establecimiento de los SSP para poder evaluar el cambio en el almacenamiento de carbono como resultado de prácticas silvopastoriles.

## VII. LITERATURA CITADA

- Adame-Castro, D. E., Aryal, D. R., Villanueva-López, G., López-Martínez, J. O., Chay-Canul, A. J., y Casanova-Lugo, F. 2020. Diurnal and seasonal variations on soil CO<sub>2</sub> fluxes in tropical silvopastoral systems. *Soil Use and Management*, 36(4), 671-681.
- Anguiano, J.M., 2013. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de Cocos nucifera, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(1),149-160. ISSN: 0188-7890.
- Anriquez, A.L. 2018. Impacto de los Sistemas Silvopastoriles en los Microorganismos relacionados al ciclo del Nitrógeno. *Asociación Argentina de Ciencia del Suelo*. Volumen 2. P117-128.
- Armenteras, D., Espelta, J. M., Rodríguez, N., y Retana, J. (2017). Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980–2010). *Global Environmental Change*, 46, 139-147.
- Arreaga, G. 2002. Almacenamiento de Carbono en Bosques con Manejo Forestal Sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Peten, Guatemala. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Arroyo, I., Cervantes, V., Tamaríz-Flores, V., y Castelán, R. 2022. Land Degradation Neutrality: State and Trend of Degradation at the Subnational Level in Mexico. *Land*, 11(4), 562.
- Aryal, D. R., Morales-Ruiz, D. E., López-Cruz, S., Tondopó-Marroquín, C. N., Lara-Nucamendi, A., Jiménez-Trujillo, J. A., e Ibrahim, M. 2022. Silvopastoral systems and remnant forests enhance carbon storage in livestock-dominated landscapes in Mexico. *Scientific reports*, 12(1), 1-18.
- Aryal, D.R, Pinto Ruiz R., Guevara Hernández F., Hernández López A., Medina Jonapá F., Reyes Sosa M, Venegas Venegas J., Macías Morales L. 2022b. Experiencias del uso de tecnologías agroforestales en sistemas ganaderos de Chiapas, México, como estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático. En: Palma-García et al (eds), *Tecnologías agroforestales para la adaptación y mitigación al cambio climático: Opciones y perspectivas* Universidad de Colima.
- Aryal, D. R., Jong, B. H. J. D., Mendoza-Vega, J., Ochoa-Gaona, S., y Esparza-Olguín, L. (2017). Soil organic carbon stocks and soil respiration in tropical secondary forests in Southern Mexico. In *Global soil security* (pp. 153-165). Springer Switzerland.
- Bacab, H.M., 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*.
- Bonilla, R., B. Roncallo, J. Jimeno, y T. García. Cesar. 2009. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 9, n.º 2, enero de 2009, pp. 5-11, doi:10.21930/rcta.vol9\_num2\_art:113.

- Buda, A. G., Trench Tim, Durand Leticia. 2013. El Aprovechamiento de Palma Camedor en la Selva Lacandona, Chiapas México, ¿Conservación con Desarrollo? El colegio de la Frontera Sur.
- Bueno, L. L., Camargo, J. C. 2012. Cambios del nitrógeno durante etapas de desarrollo temprano de la leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit). *Liv. Res. Rural Dev*, 24.
- Bueno, L. L., Camargo G, J. C. 2015. Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles. *Acta Agronómica*, 64(4), 349-354.
- Cairns, MA, Brown, S., Helmer, EH y Baumgardner, GA (1997). Asignación de biomasa de raíces en los bosques de tierras altas del mundo. *Ecología*, 111 (1), 1-11.
- Cano-Flores, O., Vela-Correa, G., Acevedo-Sandoval, O. A., y Valera-Pérez, M. Á. 2020. Concentraciones de carbono orgánico en el arbolado y suelos del área natural protegida El Faro en Tlalmanalco, Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 895-905.
- Cantú, S., I., Yáñez D. M. Inés. 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(45), 122-151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>.
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., y Solorio-Sánchez, J. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(1), 133-143.
- Casanova-Lugo, F., Villanueva-López, G., Alcudia-Aguilar, A., Nahed-Toral, J., Medrano-Pérez, O. R., Jiménez-Ferrer, G., y Aryal, D. R. 2022. Effect of Tree Shade on the Yield of *Brachiaria brizantha* Grass in Tropical Livestock Production Systems in Mexico. *Rangeland Ecology & Management*, 80, 31-38.
- Céspedes, F. F., Fernández, J. A., Gobbi J. A., Bernardis, A. C. 2012. Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 35 (1): 79 - 86, 2012.
- Conrad, K. A., Dalal, R. C., Dalzell, S. A., Allen, D. E., y Menzies, N. W. 2017. The sequestration and turnover of soil organic carbon in subtropical leucaena-grass pastures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 248, 38-47.
- Contreras, S. J. L., Martínez, A. J., Falla. G. C. 2021. Carbono acumulado en raíces de especies vegetales en sistemas silvopastoriles en el Norte de Colombia. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)* e-ISSN: 2215-3896 (enero-junio, 2021). Vol 55(1): 52-69 DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.55-1.3>
- Contreras, S. J. L., Martínez, A. J., Cadena, T. J. y Falla, G. C. 2020. Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe colombiano. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 29-41.

- Crespo, G. 2008. Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(4). ISSN:0034-7485.
- Del Pozo, R. J. J., 2019. Los sistemas silvopastoriles. Una alternativa para el manejo ecológico de los pastizales: experiencias de su aplicación en Cuba.
- Di Gerónimo, P., Videla, C., Fernández, M., Zamuner, E. C., y Laclau, P. 2015. *Sistemas silvopastoriles. ¿Cómo afectan las propiedades bioquímicas de suelos templados?* Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. 3. Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales. 8. 2015 05 07-09, 7, 8 y 9 de mayo de 2015. Iguazú, Misiones. AR.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Estados Unidos Mexicanos, 2002. Disponible en: <<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>>. Revisado: 10septiembre, 2021.
- Díaz, R. A. 2019. Almacenamiento de carbono en biomasa de gramíneas de un matorral en Aguascalientes, México. Síntesis a 2019. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Ferrer, G. J., Pinto, L. S., Luna, E. P., Vera, J. C. K., Burgos, A. A., López, G. V., y Gamboa, A. A. 2015. Ganadería y cambio climático: avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México. *Sociedades rurales, Producción y Medio ambiente*, (30), 51-70.
- Giraldo, A., 2008. Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Departamento de Producción Animal Grupo de Investigación Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo.
- Giraldo, L. M. A., Camargo, J. C., Dossman, M. Á., Echeverry, M. A., Rodríguez, J. A., Molina, C. H., y Melo, I. D. 2019. Estimación de biomasa aérea y desarrollo de modelos alométricos para *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles de alta densidad en el valle del Cauca, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, (58).
- Gómez-Castro, H., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., y Gonzalez-Reyna, A. 2010. Estimaciones de biomasa aérea y carbono almacenado en *Gliricidia sepium* (Lam.) y *Leucaena leucocephala* (Jacq.) y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *ITEA*, 106(4), 256-270.
- González, G. E. J., y Meira, P. A. (2020). Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles educativos*, 42(168), 157-174.
- Harvey, C. A y González, V. J. A (2007). Los sistemas agroforestales conservan ensamblajes modificados pero ricos en especies de aves tropicales y murciélagos. *Biodiversidad y Conservación*, 16 (8), 2257-2292.
- Heanes, D.L (1984). Determinación del total de C orgánico en suelos mediante una digestión mejorada con ácido crómico y un procedimiento espectrofotométrico. *Comunicaciones en ciencia del suelo y análisis de plantas*, 15 (10), 1191-1213.

- Hernández-Chávez, M., Sánchez Cárdenas, S., y Simón Guelmes, L. 2008. Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 319-321.
- Hilje, L. y Saunders, J. 2008. Manejo integrado de plagas en Mesoamérica: aportes conceptuales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. pp.125
- Ibrahim, M., Villanueva, C., y Casasola, F. (2007). Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América.
- Ibrahim, M. A., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola Coto, F., y Rojas, J. 2013. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, número 45 (2007).
- INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Marco Geoestadístico 2010.
- INEGI, 2018. Mapa de uso de suelo y vegetación de México: Series I–VII. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*, Aguascalientes, Mexico. [https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Map\(2018\)](https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Map(2018)). Consultado a 17 Aug 2022.
- IPCC, 2015. Quinto Informe de Evaluación del IPCC—Informe de Síntesis.
- IPCC, 2018: Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].
- Iraola, J. M. E, García, Y., Hernández, J. L. Moreira E. 2016: Estrategia agroecológica de transformación en un sistema de pastizales degradados con un arreglo silvopastoril. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 28, Article #120. Retrieved October 3, 2016, from <http://www.lrrd.org/lrrd28/7/irao28120.html>
- José, S., & Dollinger, J. (2019). Silvopasture: a sustainable livestock production system. *Agroforestry systems*, 93(1), 1-9.
- Lal, R. y Shukla, M. K. 2004. Principles of soils physics. Marcel Dekker, Inc. New York. pp 126
- Lok, S. Indicadores de sostenibilidad para el estudio de pastizales *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 44, núm. 4. 2010. pp. 333-344 Instituto de Ciencia Animal La Habana, Cuba.
- Lok, S., Fraga, S., Noda, A., y García, M. 2013. Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(1), 75-82.

- López, G., G., Iracheta, D. L., Avendaño, A. C.H. 2010. Tecnologías de Producción para el Trópico. 65 aniversario del Campo Experimental Rosario Izapa. INIFAP. Libro Técnico Núm. 7. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 222p.
- Lugo, F. C., Maldonado, J. C., Aldana, J. P., Sánchez, F. S., y Caamal, J. C. 2010. Acumulación de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. *La Revista Forestal Venezolana*, 54(1), 45-51.
- Mejía, M. J., Congo, C. D., Velástegui, F. J., y Vera, A. 2018. *Influencia de los Sistemas Silvopastoriles en el Mejoramiento del pH del Suelo*.
- Montenegro, A. del C. E., Filella, J. B., y Valdivia, N. A. G. 2017. Estudio comparativo macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Esteli*, 22, 39-49.
- Mora, F. C., Morán, E. S. H., y Villalva, J. C. G. 2019. Sostenibilidad de los sistemas de producción de ganadería extensiva. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 4(1), 180-195.
- Morales-Ruiz, D. E., Aryal, D. R., Pinto Ruiz, R., Guevara Hernández, F., Casanova Lugo, F., y Villanueva Lopez, G. 2021. Carbon contents and fine root production in tropical silvopastoral systems. *Land Degradation & Development*, 32(2), 738-756.
- Murgueitio, R. E., 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (sspi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 17(3), 501-507. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93935728001>
- Ordoñez, J. A. B., Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques*, Vol. 7(1), 3-12
- Ortiz, A. y Riascos, L. S. E. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas* N° 46 (26-29).
- Pérez-Vázquez, Z. R., Ángeles-Pérez, G., Chávez-Vergara, B., Valdez-Lazalde, J. R., y Ramírez-Guzmán, M. E. 2021. Enfoque espacial para modelación de carbono en el mantillo de bosques bajo manejo forestal maderable. *Madera y bosques*, 27(1).
- Pinto-Ruiz, R., Pérez-Díaz, A. A., Hernández-Sánchez, D., Guevara-Hernández, F., Uriel-Trujillo, G. y Cadena-Iñiguez, P. 2018. Comportamiento animal y composición botánica de la dieta de ovinos apacentando estrella africana (*Cynodon plectostachyus* (L.) Pers.) en monocultivo y asociada con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Guazuma ulmifolia* (Lam.). *Revista Científica*, 61.
- Ramírez, R., 2020. Contribución de los sistemas silvopastoriles al almacenamiento de carbono en la región Costa Sur de Jalisco, México. Síntesis 2020. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono. ISSN en trámite. 602 p.
- Rodríguez, F. G., 2013. Producción de forraje y respuesta de cabras en crecimiento en arreglos silvopastoriles basados en *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Crescentia cujete*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14 (1), 77-89.

- Rodríguez, I.; Crespo, G., Rodríguez, C., Castillo, E., Fraga, S. 2002. Comportamiento de la Macrofauna del suelo en Pastizales con gramíneas naturales puras o intercaladas con *leucaena* para la ceiba de toros Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 36, núm. 2, pp. 181-186 Instituto de Ciencia Animal La Habana, Cuba
- Rodríguez, L. L. A., 2016. Estimación de Biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Vol.7 94p.
- Romero-Delgado, G., Trillo Zárata, F., Orellana Chirinos, J., Quiroga Espilco, P., Gamarra Bojorquez, J., Rojas Egoavil, D., Rivadeneira, V. y Nuñez Delgado, J. 2021. Efecto de *Acacia macracantha* en las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema silvopastoril. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(3).
- Sánchez, P. H., Peralta, L. M., Reyes, G. M.E., 2014. Producción Agrícola y Forestal. Universidad Autónoma de Chiapas. Cuerpos Académicos DES Ciencias Agropecuarias. Primera Edición. 336p.
- Sánchez, P. Y. 2006. Tratamientos pregerminativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(3),257-272.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182006000300001&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000300001&lng=es&tlng=es).
- Soto, M.E. S., Hernández, V., M., Luna, Z., H. S., Ortiz, O., E., y García, G., E. 2016. Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(5), 98-102.
- Soto-Pinto, P. L. 2008. Diseño de Sistemas Agroforestales para la Producción y la Conservación. El colegio de la frontera sur. ECOSUR. 90p.
- Timoteo, K., R., J., Valdivia, L., Sales-Dávila, F., García-Soria, D. y Abanto-Rodríguez, C. 2016. Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia amazónica*, 25(1), 45-54.
- Valenzuela Que, F. G., Villanueva-López, G., Alcudia-Aguilar, A., Medrano-Pérez, O. R., Cámara-Cabrales, L., Martínez-Zurimendi, P., ... & Aryal, D. R. (2022). Silvopastoral systems improve carbon stocks at livestock ranches in Tabasco, Mexico. *Soil Use and Management*, 38(2), 1237-1249.
- Vásquez, H. V., Valqui, L., Orihuela, J. C. A., Gómez, C. y Maicelo, J. L. 2020. Análisis de cuatro sistemas silvopastoriles en Perú: Caracterización física y nutricional de pasturas, composición florística, reserva de carbono y CO<sub>2</sub>. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 167-176.
- Villanueva-López, G., Casanova-Lugo, F., Martínez-Zurimendi, P., Parsons, D. y Aguilar-Solís, L. A. (2016). Effect of live fences of *Gliricidia sepium* on CO<sub>2</sub> fluxes in tropical livestock systems. *Soil Use and Management*, 32(4), 553-564.
- Viruel, E., Fontana, C. A., Bassi, D., Puglisi, E., Radrizzani, A., Martinez Calsina, L., & Cocconcelli, P. S. (2021). Silvopastoral systems in dry Chaco, Argentina: Impact on soil chemical parameters and bacterial communities. *Soil Use and Management*, 37(4),

866-878.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.

Yamallel, J. I. Y., Pérez, J. J., Rodríguez, E. A., Calderón, O. A. A., Tagle, M. A. G. y Garza, E. J. T. 2014. Dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados del noreste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), 113-121.

## VIII. ANEXO

### Anexo 1

Análisis estadístico y prueba de medias (Tukey) rancho San Ramón, municipio de Villaflores, Chiapas.

**Cuadro 1A.** Análisis de varianza para carbono orgánico del suelo (COS %) por sistema ganadero en el rancho San Ramón, municipio de Villaflores, Chiapas.

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: CARBONO EN %

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4.258 <sup>a</sup>	1	4.258	2.364	.127
Intersección	2020.229	1	2020.229	1121.696	.000
SISTEMA	4.258	1	4.258	2.364	.127
Error	176.503	98	1.801		
Total	2246.700	100			
Total corregido	180.760	99			

a. R al cuadrado = .024 (R al cuadrado ajustada = .014)

**Cuadro 2A.** Análisis de varianza para carbono orgánico del suelo (COS %) por sistema y profundidad de suelo en el Rancho San Ramón, municipio de Villaflores, Chiapas.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	91.361 <sup>a</sup>	9	10.151	10.219	0.000
Intersección	2020.229	1	2020.229	2033.798	0.000
PROFUNDIDAD	84.661	4	21.165	21.307	0.000
SISTEMA	4.258	1	4.258	4.286	0.041
PROFUNDIDAD * SISTEMA	3.565	4	0.891	0.897	0.469
Error	89.400	90	0.993		
Total	2246.700	100			
Total corregido	180.760	99			

**Cuadro 3A.** Análisis de varianza para carbono orgánico del suelo ( $t\ ha^{-1}$ ) por sistema ganadero en el Rancho San Ramón, municipio de Villaflores, Chiapas.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7037.296 <sup>a</sup>	9	781.922	4.390	0.000
Intersección	374588.659	1	374588.659	2103.278	0.000
PROFUNDIDAD	5626.972	4	1406.743	7.899	0.000
SISTEMA	897.319	1	897.319	5.038	0.027
PROFUNDIDAD * SISTEMA	388.895	4	97.224	0.546	0.702
Error	16028.782	90	178.098		
Total	405660.933	100			
Total corregido	23066.078	99			

**Cuadro 4A.** Cuadro de análisis de varianza de contenido de nitrógeno por Kg de suelo del rancho San Ramon, municipio de Villaflores, Chiapas.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: N%					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	.041 <sup>a</sup>	5	.008	26.824	.000
Intersección	.158	1	.158	516.438	.000
Sistema	.002	1	.002	6.273	.022
Prof	.039	4	.010	31.962	.000
Error	.006	19	.000		
Total	.205	25			
Total, corregido	.047	24			

a. R al cuadrado = .876 (R al cuadrado ajustada = .843)

**Cuadro 5A.** Análisis de varianza de la relación C-N del rancho San Ramon municipio de Villaflores, Chiapas.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: logCN					

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	.277 <sup>a</sup>	9	.031	3.010	.039
Intersección	56.408	1	56.408	5513.762	.000
Sistema	.026	1	.026	2.587	.134
Prof	.189	4	.047	4.624	.017
Sistema * Prof	.059	4	.015	1.447	.278
Error	.123	12	.010		
Total	62.810	22			
Total, corregido	.400	21			

a. R al cuadrado = .693 (R al cuadrado ajustada = .463)

## Anexo 2

### Análisis estadístico y prueba de medias (Tukey) rancho Llano Alto, municipio de Villaflores, Chiapas.

**Cuadro 6A.** ANOVA de la variable carbono en pasto y hojarasca del rancho Llano Alto, municipio de Villaflores, Chiapas.

Sistema	Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>PAS TO</b>	Modelo corregido	2.980 <sup>a</sup>	1	2.980	7.194	0.014
	Intersección	81.513	1	81.513	196.793	0.000
	SISTEMA	2.980	1	2.980	7.194	0.014
	Error	9.113	22	0.414		
	Total	93.605	24			
	Total, corregido	12.092	23			
<b>HOJ ARA SCA</b>	Modelo corregido	.942 <sup>a</sup>	1	0.942	5.883	0.024
	Intersección	20.689	1	20.689	129.155	0.000
	SISTEMA	0.942	1	0.942	5.883	0.024
	Error	3.524	22	0.160		
	Total	25.156	24			
	Total, corregido	4.467	23			

**Cuadro 7A.** ANOVA de la variable carbono del rancho Llano Alto, municipio de Villaflores, Chiapas.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Modelo corregido</b>	9538.861 <sup>a</sup>	9	1059.873	11.841	0.000
<b>Intersección</b>	436532.210	1	436532.210	4877.002	0.000
<b>SISTEMA</b>	252.950	1	252.950	2.826	0.095
<b>PROFUNDIDAD</b>	6988.779	4	1747.195	19.520	0.000
<b>SISTEMA * PROFUNDIDAD</b>	375.182	4	93.796	1.048	0.384
<b>Error</b>	15216.413	170	89.508		
<b>Total</b>	523766.727	180			
<b>Total corregido</b>	24755.275	179			

#### ANOVA DE DENSIDAD APARENTE g/cm<sup>3</sup>

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
--------	-------------------------------	----	------------------	---	------

Modelo corregido	.978 <sup>a</sup>	9	0.109	2.736	0.006
Intersección	260.692	1	260.692	6565.024	0.000
PROFUNDIDAD	0.121	4	0.030	0.765	0.550
SISTEMA	0.747	1	0.747	18.820	0.000
PROFUNDIDAD * SISTEMA	0.109	4	0.027	0.685	0.604
Error	4.368	110	0.040		
Total	266.037	120			
Total, corregido	5.346	119			

a. R al cuadrado = .183 (R al cuadrado ajustada = .116)

**Cuadro 8A.** ANOVA de la variable densidad aparente del suelo del rancho Llano Alto, municipio de Villaflores, Chiapas.

**Cuadro 9A.** ANOVA de la variable biomasa aérea del rancho Llano Alto, municipio de Villaflores, Chiapas.

**VARIABLE DEPENDIENTE: BA (Mg-C t ha<sup>-1</sup>)**

Parcela	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%		Simulación de muestreo para Media <sup>a</sup>		Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior	Sesgo	Error estándar	Inferior	Superior
Fátima	1.407	0.345	0.561	2.252	.000 <sup>b</sup>	.082 <sup>b</sup>	1.230 <sup>b</sup>	1.530 <sup>b</sup>
San Martín	2.503	0.345	1.658	3.349	-.002 <sup>c</sup>	.253 <sup>c</sup>	2.010 <sup>c</sup>	2.960 <sup>c</sup>
Sto. Tomás	2.003	0.345	1.158	2.849	-.021 <sup>d</sup>	.477 <sup>d</sup>	.990 <sup>d</sup>	2.740 <sup>d</sup>

**Cuadro 10A.** ANOVA de la variable biomasa de raíces del rancho Llano Alto, municipio de Villaflores, Chiapas.

**VARIABLE DEPENDIENTE: BR (Mg-C t ha<sup>-1</sup>)**

Parcela	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%		Simulación de muestreo para Media <sup>a</sup>		Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior	Sesgo	Error estándar	Inferior	Superior
Fátima	0.473	0.106	0.214	0.733	.001 <sup>b</sup>	.029 <sup>b</sup>	.410 <sup>b</sup>	.510 <sup>b</sup>
San Martín	0.707	0.106	0.447	0.966	.000 <sup>c</sup>	.022 <sup>c</sup>	.660 <sup>c</sup>	.740 <sup>c</sup>
Sto. Tomás	0.687	0.106	0.427	0.946	-.002 <sup>d</sup>	.161 <sup>d</sup>	.340 <sup>d</sup>	.940 <sup>d</sup>

**Cuadro 11A.** Cuadro de análisis de varianza de contenido de nitrógeno por Kg de suelo del rancho Llano Alto, municipio de Villaflores, Chiapas.

Variable dependiente: N%						
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
Modelo corregido	.010 <sup>a</sup>	9	.001	.841	.592	
Intersección	.044	1	.044	34.095	.000	
Sistema	1.322E-8	1	1.322E-8	.000	.997	
Profundidad	.008	4	.002	1.462	.263	
Sistema * Profundidad	.001	4	.000	.174	.948	
Error	.019	15	.001			
Total	.075	25				
Total, corregido	.029	24				

a. R al cuadrado = .335 (R al cuadrado ajustada = -.063)

**Análisis estadístico y prueba de medias (Tukey) rancho Independencia municipio de La Concordia, Chiapas.**

**Cuadro 12A.** Análisis de varianza para carbono orgánico del suelo (COS %) por sistema ganadero en el Rancho Independencia, Municipio de La Concordia, Chiapas.

<b>Origen</b>	<b>Tipo III de suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Modelo corregido	79.947 <sup>a</sup>	9	8.883	20.758	0.000
Intersección	2252.457	1	2252.457	5263.550	0.000
SISTEMA	0.001	1	0.001	0.003	0.959
PROFUNDIDAD	70.900	4	17.725	41.420	0.000
SISTEMA * PROFUNDIDAD	0.915	4	0.229	0.535	0.710
Error	72.749	170	0.428		
Total	2687.921	180			
Total corregido	152.696	179			

**Cuadro 13A.** Análisis de varianza para carbono orgánico del suelo (t ha<sup>-1</sup>) por sistema ganadero en el Rancho Independencia, Municipio de La Concordia, Chiapas.

<b>Origen</b>	<b>Tipo III de suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Modelo corregido	9538.861 <sup>a</sup>	9	1059.873	11.841	0.000
Intersección	436532.210	1	436532.210	4877.002	0.000
PROFUNDIDAD	6988.779	4	1747.195	19.520	0.000
SISTEMA	252.950	1	252.950	2.826	0.095
PROFUNDIDAD * SISTEMA	375.182	4	93.796	1.048	0.384
Error	15216.413	170	89.508		
Total	523766.727	180			
Total corregido	24755.275	179			

**Cuadro 14A.** Promedios de pH, Eh (mV) y DA por sistema ganadero en el Rancho Independencia, Municipio de La Concordia, Chiapas.

SISTEMA	PROFUNDIDAD	pH			Eh (mV)			DA		
		Media	Intervalo de confianza al 95%		Media	Intervalo de confianza al 95%		Media	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior		Límite inferior	Límite superior		Límite inferior	Límite superior
MONOCULTIVO	10	5.509	5.250	5.768	119.008	105.6	132.4	1.226	1.149	1.303
	20	5.370	5.111	5.629	127.658	114.287	141.030	1.343	1.265	1.420
	30	5.393	5.134	5.653	126.608	113.237	139.980	1.397	1.319	1.474
	40	5.319	5.060	5.578	129.933	116.562	143.305	1.453	1.375	1.530
	50	5.356	5.097	5.615	128.292	114.920	141.663	1.507	1.429	1.584
SILVOPASTORIL	10	5.370	5.187	5.553	118.171	108.716	127.626	1.350	1.296	1.405
	20	5.435	5.252	5.618	114.488	105.033	123.942	1.467	1.412	1.521
	30	5.452	5.268	5.635	114.638	105.183	124.092	1.500	1.445	1.554
	40	5.505	5.322	5.689	111.929	102.474	121.384	1.441	1.387	1.496
	50	5.528	5.345	5.711	110.617	101.162	120.072	1.408	1.353	1.463

**Cuadro 15A.** Promedio de biomasa área y subterránea del sistema silvopastoril del Rancho ganadero Independencia del Municipio de La Concordia, Chiapas.

Gradiente	C BA t ha-1			C BR t ha-1		
	Media	Intervalo de confianza al 95%		Media	Intervalo de confianza al 95%	
		Límite inferior	Límite superior		Límite inferior	Límite superior
Alto	6.460	4.053	8.867	1.740	1.113	2.367
Bajo	12.040	9.633	14.447	3.450	2.823	4.077

**Cuadro 16A.** ANOVA de la variable carbono en pasto y hojarasca del rancho Independencia, Municipio de La Concordia, Chiapas.

	origen	suma de cuadrados	gl	media cuadrática	f	sig.
PASTO	Modelo corregido	1.092 <sup>a</sup>	1	1.092	3.779	0.060
	Intersección	50.986	1	50.986	176.439	0.000
	SISTEMA	1.092	1	1.092	3.779	0.060
	Error	9.825	34	0.289		
	Total	74.010	36			
Total, corregido		10.917	35			
HOJARAS CA	Modelo corregido	4.029 <sup>a</sup>	1	4.029	6.675	0.014
	Intersección	34.360	1	34.360	56.924	0.000
	SISTEMA	4.029	1	4.029	6.675	0.014
	Error	20.523	34	0.604		
	Total	72.534	36			
Total, corregido		24.551	35			

**Cuadro 17A.** Cuadro de análisis de varianza de contenido de nitrógeno por Kg de suelo del rancho Independencia, Municipio de La Concordia, Chiapas.

Variable dependiente: N%

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	.148 <sup>a</sup>	9	.016	19.472	.000
Intersección	.433	1	.433	512.400	.000
Sistema	.002	1	.002	2.236	.144
Profundidad	.133	4	.033	39.313	.000
Sistema * Profundidad	.002	4	.000	.481	.750
Error	.030	35	.001		
Total	.644	45			
Total, corregido	.178	44			

a. R al cuadrado = .834 (R al cuadrado ajustada = .791)

## Anexo 3

### Cuestionario aplicado a productores de cada rancho ganadero



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

#### Diagnostico



#### DATOS GENERALES

Nombre del productor: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Finca: \_\_\_\_\_

Municipio: \_\_\_\_\_

Entidad: \_\_\_\_\_

#### TOPOGRAFÍA DEL SUELO

##### Características del suelo

Área \_\_\_\_\_ Tipo de suelo \_\_\_\_\_ Color \_\_\_\_\_ Textura \_\_\_\_\_  
Ph \_\_\_\_\_

Área \_\_\_\_\_ Tipo de suelo \_\_\_\_\_ Color \_\_\_\_\_ Textura \_\_\_\_\_  
Ph \_\_\_\_\_

Área \_\_\_\_\_ Tipo de suelo \_\_\_\_\_ Color \_\_\_\_\_ Textura \_\_\_\_\_  
Ph \_\_\_\_\_

#### DATOS DE LA FINCA

¿Cuál es el área total de la finca? \_\_\_\_\_ has

#### USO DE SUELO

Agricultura \_\_\_\_\_ has. Ganadería \_\_\_\_\_ has.

#### CULTIVOS

Maíz \_\_\_\_\_ has.

Pasto \_\_\_\_\_ has.

#### ESPECIES ARBÓREAS Y SUS USOS

¿Qué árboles Maderables hay?

¿Qué árboles forrajeros hay?

#### PRODUCCIÓN DE FORRAJES

Número de animales que tiene:

Tipo	Número	Pastoreo	Encerrado
vacas	_____	_____	_____

¿Qué uso le da el estiércol producido por sus animales?

¿Cuáles son las fuentes con las que se alimentan sus animales?

a).- **Potreros:** Si\_\_\_ No\_\_\_

Especie (s)

utilizadas\_\_\_\_\_

b).- **Pasto de corte:** Si\_\_\_ No\_\_\_

Especie (s)

utilizadas\_\_\_\_\_

¿Utiliza arboles forrajeros? Si\_\_\_\_\_ No\_\_\_\_\_

¿Qué especies?

¿Tiene problemas de falta de alimento para su ganado?

Si \_\_\_\_\_ No\_\_\_\_\_

¿En qué época?

¿Qué superficie de silvopastoril cuenta?

¿En qué fecha se estableció el sistema silvopastoril?

¿Realiza podas en el sistema silvopastoril?

¿A que altura realizar la poda?

¿Qué distancia de siembra hay entre plantas?

¿Qué distancia entre surcos hay?

¿Cuántos animales entran a pastorear?

¿Por cuánto tiempo?

¿Qué propósito es su ganado?

¿En qué época del año entran a pastorear?

¿Cuántas veces al año entran al sistema silvopastoril?

¿Ha notado aumento del peso de los animales?

¿Ha notado aumento de la leche?

¿Cuántos Litros?

¿Cuántos kilos?

### Uso del suelo dentro del rancho

Uso de suelo	Superficie (hectárea)	Desde cuando lo tiene (años)
Área total del rancho		
Área de pasto abierto / monocultivo		
Área de árboles dispersos en potrero		
Área de cercas vivas (o longitud en metros)		
Área de banco forrajero		
Área de acahual		
Área de conservación / vegetación primaria		
Área de otros usos		

¿Qué especie de pasto tiene?:

¿Qué especies de árboles tiene?:

¿Es un sistema extensivo, intensivo o semi-extensivo?:

¿Cuántos meses del año, se deja los animales en el potrero?:

En el sistema silvopastoril, ¿cuántos animales pastorea?

¿Cuántos días de pastoreo?:

¿Cuántos días de descanso?:

En monocultivo de pasto, ¿cuál es tiempo de rotación de potrero?:

Número total de animales:

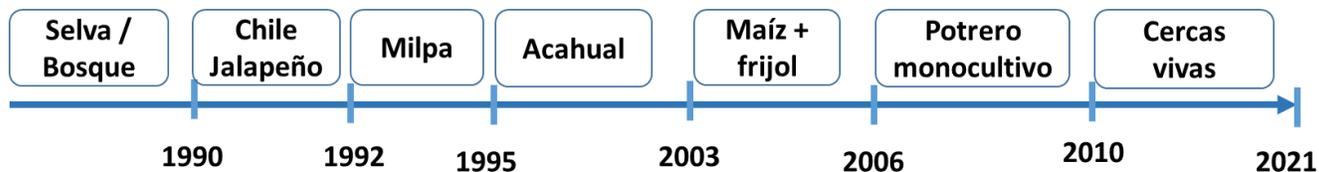
Adultos:

Becerras:

¿Qué razas de ganado tiene?:

Carga animal (UA/ ha):

Línea de tiempo sobre la historia de uso del suelo del sitio de muestreo (*Dibujar la edad de cada uso de suelo desde vegetación natural hasta actualidad, enfocando al sitio donde se realizó el muestreo, ver el ejemplo*)



### Manejo de la tierra ganadera (del sitio de muestreo)

Manejo	Cada cuando	Qué / Como / Cuanto
¿Aplica fertilizantes o abono?		
¿Realiza la quema?		
¿Realiza labranza?		
¿Aplica herbicida?		
¿Riego?		
¿Corte de pasto?		
¿Poda los árboles?		
¿Cosecha, leña, madera u otros productos?		

¿Ha ocurrido algún disturbio natural en el área del muestreo?

Desastres naturales	Cuando	Cómo afecto
Incendios		
Sequía extrema		

Huracanes		
Inundaciones		:
Enfermedades y plagas de las plantas		

Comentario del entrevistado:

## Anexo 4.

- **Características de los ranchos ganaderos.**

<p style="text-align: center;"><b>Rancho San Ramón</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>● Es un centro universitario de transferencia de tecnologías</li><li>● módulos de: invernadero, vivero, conejos, banco de forrajes</li><li>● Ganado productor de leche</li><li>● Ganado ovino</li><li>● Superficie de 117-00 hectáreas</li><li>● Cultivos básicos: maíz, frijol</li><li>● Cultivo de sorgo</li><li>● Posta porcina</li><li>● 10-00 de pastizal sin árboles</li><li>● Cercos vivos de: mata ratón, ganacastle, guash</li><li>● Áreas de acahual</li><li>● Modulo apiforestal</li><li>● Problemas de acides de los suelos</li></ul>
<p style="text-align: center;"><b>Rancho Llano Alto</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>● Criador de ganado de engorda Beffmaster</li><li>● Cultivos básicos de maíz, frijol</li><li>● Módulos de: lombricultura, posta porcina, corral de engorda de toretes</li><li>● Módulo de invernadero</li><li>● Venta de sementales</li><li>● Maquinaria: tractores e implementos agrícolas</li><li>● Cultivo de sorgo</li><li>● Suelos erosionados</li></ul>
<p style="text-align: center;"><b>Rancho Independencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>● Presenta suelos rojos en la parte alta y negro en partes bajas</li><li>● 3-00 hectáreas dedicadas a la siembra de maíz para autoconsumo</li><li>● Cercos vivos de guanacastle, caulote árboles dispersos de cedro, caoba</li><li>● Pasto colcho y pasto estrella para empacar</li><li>● 20 vacas de pastoreo todo el año</li><li>● 02 días de pastoreo en el sistema silvopastoril todo el año</li><li>● Raza de ganado cebú con suizo</li><li>● Uso de fertilizantes químicos 18-46-00 y urea en junio</li><li>● Realizan quema en la orilla de los canales de riego para desazolvar</li><li>● Acceso al riego rodado en los meses de diciembre a abril</li><li>● Uso de herbicidas (glifosato)</li><li>● Cuota anual por el agua de riego (250 pesos)</li></ul>

## Anexo 5

### Matriz de correlación entre variables

MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES											
	pH	Eh_Mv	COS_%	DA gr/cm3	COS T/ha	Raíces finas T/ha	Biom_árbol	N_%	Pasto	Hojarasca	
Coe fici en te de cor re la ción	pH	1	-0.834	0.405	-0.247	0.353	0.193	0.234	0.301	0.004	0.067
	Eh_Mv	0.834	1	-0.295	0.207	-0.245	-0.212	-0.187	-0.197	-0.236	-0.316
	COS_%	0.405	-0.295	1	-0.606	0.954	0.401	0.057	0.521	0.518	0.464
	DA gr/cm3	0.247	0.207	-0.606	1	-0.363	-0.089	0.006	-0.394	-0.253	-0.16
	COS T/ha	0.353	-0.245	0.954	-0.363	1	0.431	0.124	0.501	0.484	0.498
	Raíces finas T/ha	0.193	-0.212	0.401	-0.089	0.431	1	-0.013	0.356	0.379	0.162
	Biom_árbol	0.234	-0.187	0.057	0.006	0.124	-0.013	1	0.299	-0.279	0.131
	N_%	0.301	-0.197	0.521	-0.394	0.501	0.356	0.299	1	-0.047	0.035
	Pasto	0.004	-0.236	0.518	-0.253	0.484	0.379	-0.279	-0.047	1	0.572
	Hojarasca	0.067	-0.316	0.464	-0.16	0.498	0.162	0.131	0.035	0.572	1
Va lor es de p (si gn ific an cia)	pH		0	0.038	0.147	0.064	0.207	0.161	0.098	0.493	0.39
	Eh_Mv	0		0.103	0.191	0.149	0.185	0.215	0.203	0.158	0.088
	COS_%	0.038	0.103		0.002	0	0.04	0.406	0.009	0.01	0.02
	DA gr/cm3	0.147	0.191	0.002		0.058	0.355	0.491	0.043	0.141	0.25
	COS T/ha	0.064	0.149	0	0.058		0.029	0.302	0.012	0.015	0.013
	Raíces finas T/ha	0.207	0.185	0.04	0.355	0.029		0.478	0.062	0.05	0.248
	Biom_árbol	0.161	0.215	0.406	0.491	0.302	0.478		0.101	0.117	0.291
	N_%	0.098	0.203	0.009	0.043	0.012	0.062	0.101		0.422	0.443
	Pasto	0.493	0.158	0.01	0.141	0.015	0.05	0.117	0.422		0.004
	Hojarasca	0.39	0.088	0.02	0.25	0.013	0.248	0.291	0.443	0.004	