

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación del carbono del suelo y de la biomasa de fincas ganaderas
en la Reserva de la Biósfera del Río Plátano, Olancho, Honduras

Estudiante

Sara Rebeca Mach Tomas

Asesores

Alexandra Maribel Manueles Lorenzo, Mtr.

Juan Carlos Flores López, Ph.D.

Jeffrey José Diaz Sierra, M.Sc.

Honduras, agosto 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

VICTORIA CORTÉS MATAMOROS

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Agradecimientos

Al Proyecto de Mi Biósfera por proporcionar la información en el trayecto del proyecto y permitirme utilizarlos para su análisis. De la misma manera, a mis donantes por brindarme el apoyo económico para cursar mi educación universitaria en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

Contenido

Agradecimientos	3
Índice de Cuadros	6
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Metodología	15
Descripción General	15
Área de Estudio	15
Selección de las Fincas Ganaderas	16
Definición de los Tipos de Coberturas	17
Bosque (B)	17
Guamil o Vegetación Secundaria (G)	17
Potrero en Transición (PT)	18
Potrero Intensivo (PI)	18
Base de Datos de Carbono Orgánico del Suelo y Carbono de la Biomasa	19
Estimación del Carbono de la Biomasa Aérea	20
Estimación del Carbono Orgánico del Suelo	21
Diseño del Estudio	21
Análisis Estadístico	21
Análisis de Correlación	22
Resultados y Discusión	23
Estimación del Carbono de la Biomasa Aérea	23

Estimación del Carbono Orgánico del Suelo	24
Evaluación del Carbono Orgánico del Suelo en las Coberturas	26
Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks para COS	26
Evaluación de la Densidad Aparente del suelo	28
Correlación entre Carbono Orgánico del Suelo y Densidad Aparente del Suelo	31
Conclusiones	32
Recomendaciones	33
Referencias	34
Anexos	38

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Ubicación de las fincas ganaderas en el municipio Dulce Nombre de Culmí.....	17
Cuadro 2 Distribución y área (ha) de los tipos de cobertura en cada finca ganadera.....	18
Cuadro 3 Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa en árboles en distintos tipos de cobertura	20
Cuadro 4 Estimación del carbono de la biomasa aérea (t C/ha) de cada tipo de cobertura en las fincas ganaderas.....	23
Cuadro 5 Estimación del carbono de la biomasa aérea total (t C) en las ocho fincas ganaderas.....	24
Cuadro 6 Estimación del carbono orgánico del suelo (t C/ha) de cada tipo de cobertura en las fincas ganaderas.....	25
Cuadro 7 Estimación del carbono del suelo total (t C) en las ocho fincas ganaderas.....	25
Cuadro 8 Carbono orgánico del suelo por cada tipo de cobertura en las fincas ganaderas evaluadas	26
Cuadro 9 Prueba de <i>Shapiro Wilks</i> para los datos de COS.....	27
Cuadro 10 Prueba ANDEVA de COS para los diferentes tipos de cobertura en la Reserva de la Biósfera del Río Plátano	27
Cuadro 11 Densidad aparente del suelo por cada tipo de cobertura del suelo	29
Cuadro 12 Prueba ANDEVA de DA para los diferentes tipos de cobertura del suelo en la Reserva de la Biósfera del Río Plátano	29
Cuadro 13 Prueba de Duncan para los diferentes tipos de cobertura del suelo	30
Cuadro 14 Correlación entre el carbono orgánico del suelo y la densidad aparente.....	31

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de ubicación de las fincas y zonas de vida del área de estudio.	16
--	----

Índice de Anexos

Anexo A Toneladas de C de la biomasa y del suelo por cada tipo de cobertura en el total del área ...	38
Anexo B Gráfica de Q-Qplot para prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para COS (t C/ha).....	39
Anexo C Árboles por parcela en cada finca y en cada tipo de cobertura	40

Resumen

El cambio climático es una problemática relevante en los últimos años, consecuencia de la emisión masiva de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono. Sin embargo, el secuestro y almacenamiento de carbono en el suelo y en la biomasa resultantes de la implementación de prácticas agropecuarias sostenibles, se plantea como una medida de mitigación efectiva. La investigación se desarrolló en fincas ganaderas ubicadas en La Reserva del Hombre y de la Biosfera del Río Plátano (RHBRP). Se estimó la concentración de carbono (C) almacenado en el suelo y en la biomasa aérea de ocho fincas con distintos tipos de coberturas: bosque (B), guamil (G), potrero en transición (PT) y potrero intensivo (PI). El contenido de C en la biomasa aérea fue de 10,205.70 t y en el suelo de 60,333.28 t en un área total de 661.23 ha, que corresponde a las ocho fincas. Se comparó el contenido de carbono orgánico del suelo (COS), según el tipo de cobertura en tres fincas ganaderas. En B, G, PI y PT se obtuvieron valores medios de 122.35, 91.87, 112.46 y 101.07 t C/ha, respectivamente. La prueba de ANDEVA demostró que no hubo diferencias significativas en el contenido de C en el suelo entre los tipos coberturas ($p < 0.05$). También se determinó una correlación positiva muy débil entre el COS y la densidad aparente (DA).

Palabras clave: Bosque secundario, cambio climático, densidad del suelo, sucesión secundaria, trópico húmedo

Abstract

Climate change has been a major concern in recent years as a result of massive emissions of greenhouse gases such as carbon dioxide. However, carbon sequestration and storage in soil and biomass resulting from the implementation of sustainable agricultural practices is proposed as an effective mitigation measure. The research was conducted on livestock farms located in the Río Plátano Biosphere Reserve (RHBRP). The concentration of carbon (C) stored in the soil and in the aboveground biomass of eight farms with different cover types: forest (B), guamil (G), transitioning pasture (PT), and intensive pasture (PI) was estimated. The C content in the aboveground biomass was 10,205.70 t and in the soil was 60,333.28 t over a total area of 661.23 ha, corresponding to the eight farms. The soil organic carbon content (SOC) was compared according to the type of cover in three livestock farms. The mean values obtained were 122.35, 91.87, 112.46, and 101.07 t C/ha for B, G, PI, and PT, respectively. The ANOVA test showed no significant differences in soil C content among the cover types ($p < 0.05$). A very weak positive correlation between OCS and bulk density (BD) was also determined. ($p < 0.05$).

Keywords: Climate change, humid tropics, secondary forests, secondary succession, soil density

Introducción

La emisión masiva de gases de efecto invernadero (GEI) en el último siglo ha repercutido en el calentamiento del planeta en los procesos de la atmósfera (Acosta-Mireles et al., 2009). Los GEI mayormente emitidos a nivel global por las actividades antropogénicas son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) (Saynes Santillán et al., 2016). Siendo el CO_2 el gas que más contribuye al calentamiento global, una manera de reducir los efectos del CO_2 es almacenarlo en la biomasa, a través de la fotosíntesis; y en el suelo, mediante la acumulación de materia orgánica (MO). El conjunto suelo-vegetación es importante en el incremento o reducción de concentraciones de CO_2 según el tiempo de formación y descomposición de la MO (Acosta-Mireles et al., 2009).

El principal almacén de carbono (C) en los ecosistemas terrestres es el suelo (Burbano-Ojuela, 2018), el cual contiene a nivel global entre 1,500 y 2,000 petagramos (Pg) a un metro de profundidad; este es tres veces mayor que el almacén de C en la vegetación (550 Pg C) y dos veces mayor que el atmosférico (760 Pg) (Saynes Santillán et al., 2016). El carbono es el elemento más abundante en la MO (45 - 55%), esta se refiere a los restos de origen vegetal o animal que están en diversas fases de descomposición y se acumulan a lo largo del perfil del suelo (Bautista y Arévalo Hernández, 2021). La MO del suelo no es uniforme, por ello, se categoriza en dos fracciones. Una fracción es la lábil, más susceptible a descomposición o mineralización, mientras que la otra es la recalcitrante, la fracción más estable (Burbano-Ojuela, 2018).

Las actividades humanas vinculadas al uso de la tierra y los cambios en esta, impactan en la cantidad y calidad de fracciones lábiles (biomasa microbiana y materia orgánica particulada) y estables (bioquímicas y físicas) de la MO. Sin embargo, el cambio es más rápido y apreciable en las primeras fracciones (Galicia et al., 2016). También, uno de los factores que afecta el contenido de carbono orgánico almacenado en el suelo es la densidad aparente (DA). Esta densidad puede variar desde 0.1 g/cm^3 o menos en suelos orgánicos, hasta 1.6 g/cm^3 en suelos minerales. La DA incluye el espacio poroso, por lo que a mayores valores de densidad, la porosidad del suelo disminuye

proporcionalmente; en cambio, si la DA baja, la porosidad aumenta. Con más espacios porosos, se incrementa la disponibilidad de oxígeno y el espacio para los microorganismos responsables de la mineralización de la MO (Aguilar-Arias et al., 2012).

En relación con el cambio de uso del suelo, se ha reportado que, en los últimos 200 años tanto este cambio como las actividades agrícolas han causado la pérdida de carbono del suelo. Cuando se realiza el cambio de bosques a sistemas agrícolas, generalmente se dan pérdidas de carbono orgánico del suelo (COS). Por lo contrario, cuando el cambio de uso del suelo es de sistemas agrícolas a bosques, hay una ganancia de COS (González Molina et al., 2014).

En diferentes regiones del mundo, el cambio de uso del suelo y de cobertura ha repercutido en el contenido de COS, lo cual es crucial para la calidad del suelo. En Etiopía, la deforestación masiva de bosques naturales y el uso extensivo de tierras agrícolas han provocado la degradación del suelo, por lo que en un estudio estimaron las concentraciones de COS y nitrógeno total (NT) para cinco usos de la tierra: producción de cultivo secano, producción de cultivos basada en agrosilvicultura, pastos comunales abiertos, silvopasturas y producción de frutas basadas en riego. Los resultados del estudio mostraron que la conversión de tierras de cultivo en pastizales o la integración de árboles agroforestales apropiados tienen gran potencial de secuestro de COS (Gelaw et al., 2014).

En Latinoamérica también se han realizado diversos estudios del contenido de COS en diferentes tipos de usos y coberturas. En Colombia, se realizó la evaluación del carbono acumulado en sistemas silvopastoriles, en donde se evaluó la cantidad de carbono orgánico acumulado y propiedades físicas del suelo como DA. Los resultados mostraron que en promedio los arreglos silvopastorales presentaron entre 58.2 y 69.9% mayor acumulación de carbono, comparado con el sistema tradicional de producción ganadera basado solo en pasturas (Contreras-Santos et al., 2019).

Por otra parte, los bosques y selvas capturan, almacenan y liberan CO₂ a través de procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición de materia orgánica. Este servicio ambiental de los bosques como secuestradores de carbono ayuda a mantener el equilibrio en la concentración de este elemento

(Acosta-Mireles et al., 2009; Aguilar-Arias et al., 2012). El secuestro de CO₂ consiste en utilizar el proceso natural de la fotosíntesis para capturar el carbono (C) de la atmósfera y retenerlo en forma de biomasa de las plantas y suelo, además de transferirlo a otros compartimentos de almacenamiento, de manera que no pueda ser emitido nuevamente a la atmósfera (Casiano-Domínguez et al., 2018).

En la región de Tlaxco, México se determinaron los almacenes de C en el estrato aéreo y el suelo en rodales diferentes de especies arbóreas en bosques mixtos, en este estudio se comprobó que los árboles son los que aportaron mayor cantidad de C en comparación con los arbustos y pastos (Acosta-Mireles et al., 2009). Asimismo, en Colombia, Costa Rica y Nicaragua, se estimó el almacenamiento de C en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos. Se comprobó que el establecimiento de pasturas mejoradas con alta densidad de árboles presenta un potencial de secuestro, lo que sugirió incrementar áreas de plantaciones forestales y liberar otras áreas para dar paso a la regeneración natural del bosque (Ibrahim et al., 2007).

En Honduras, se han realizado pocos estudios sobre el C de la biomasa aérea, sin embargo, específicamente en la Reserva de la Biósfera del Río Plátano y en el Valle de Sico Paulaya se llevó a cabo un estudio sobre el C almacenado en la biomasa aérea entre el 2006 y 2011, abarcando cinco sistemas de uso del suelo: bosque primario y secundario (matorral), agropecuario, sabana con árboles y bosque de pino. El estudio reveló que el bosque primario es el tipo de cobertura que almacena la mayor cantidad de carbono, también se identificó al bosque de pino como un ecosistema significativo para el almacenamiento de carbono (Lazo Ulloa, 2014).

La Reserva es una de las áreas más destacadas del Corredor Biológico Mesoamericano y de mayor importancia y extensión en Honduras, ya que, ocupa una extensión de 832,338.963 ha, aproximadamente el 7% del territorio nacional. La Reserva se caracteriza por tener diversidad de especies endémicas de fauna y flora, además este es un lugar de importancia internacional para almacenar grandes cantidades de carbono (Instituto de Conservación Forestal [ICF], 2015).

Según Vallejo Larios (2008), una de las principales amenazas para los ecosistemas de la Reserva es el cambio de uso del suelo y por lo tanto de cobertura, para actividades agropecuarias, lo cual representa un riesgo crítico para los servicios ecológicos presentes. Datos más recientes sobre el cambio de uso del suelo se muestran en un análisis multitemporal, utilizando imágenes satelitales de marzo 2006 y 2011, que las áreas de bosque en la reserva se redujeron considerablemente en un período de 5 años. Estos cambios provocaron efectos significativos sobre la biodiversidad, el almacenamiento de carbono y los flujos de GEI entre el suelo y la atmósfera (Lazo Ulloa, 2014).

Debido a la importancia de buscar estrategias de mitigación de las emisiones de GEI, el proyecto de Mi Biósfera busca la recuperación de áreas bajo potreros y la restauración natural con la finalidad de aumentar el contenido de C y reducir la intervención en el bosque para evitar el cambio de cobertura. Considerando lo mencionado anteriormente, en este estudio se consideró realizar una evaluación del carbono orgánico del suelo y del carbono de la biomasa aérea en fincas ganaderas en la Reserva de la Biósfera del Río Plátano, Olancho, Honduras. Los objetivos específicos del presente estudio fueron: a) Estimar el almacenamiento de carbono de la biomasa aérea y el carbono orgánico del suelo actual en cuatro tipos de coberturas de las fincas ganaderas, y b) Comparar el carbono orgánico y características físicas del suelo en cuatro tipos de coberturas de las fincas ganaderas.

Metodología

Descripción General

La Reserva del Hombre y de la Biósfera del Río Plátano (RHBRP) está ubicada en la región noreste de Honduras, centrada aproximadamente en 14.5329°N y 84.7788°W. Fue declarada Patrimonio de la Humanidad en 1982 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (ICF, 2015). La RHBRP cubre un área de 830,000 ha, aproximadamente el 7% de la extensión total de Honduras, abarcando seis diferentes municipios en tres departamentos: Brus Laguna, Wampusirpi, y Juan Francisco Bulnes en Gracias a Dios; Dulce Nombre de Culí, que es parte de Olancho; e Iriona, ubicado en Colón.

El área de la RHBRP se clasifica como bosque húmedo tropical y muy húmedo subtropical; la precipitación mínima y máxima anual es de 2,000 y 4,000 milímetros (mm), ocurriendo la mayoría de las lluvias entre los meses de mayo y noviembre. Por otra parte, durante los meses de febrero a abril, la región experimenta la temporada más seca del año. La temperatura promedio anual es de 23 °C y la altitud media se encuentra por debajo de los 1,000 msnm (Glick y Betancourt, 1983).

Los paisajes naturales de la RHBRP corresponden a tres categorías grandes: llanuras costeras (< 150 msnm), terrenos elevados montañosos (150 a 600 msnm) y montañas interiores (> 600 msnm). El área de la RHBRP contiene 28 ecosistemas vegetales, entre estos, el bosque tropical latifoliado, bosque de manglar, sabana y sistemas agropecuarios (ICF, 2015). La RBRP mantiene un diverso conjunto de vida neotropical, incluyendo numerosas especies de mamíferos y aves. Especies indicadoras clave como el jaguar y el águila harpía, demuestran que la RHBRP aún mantiene una alta biodiversidad, y en algunas áreas la fauna y flora se conservan intactas (ICF, 2013).

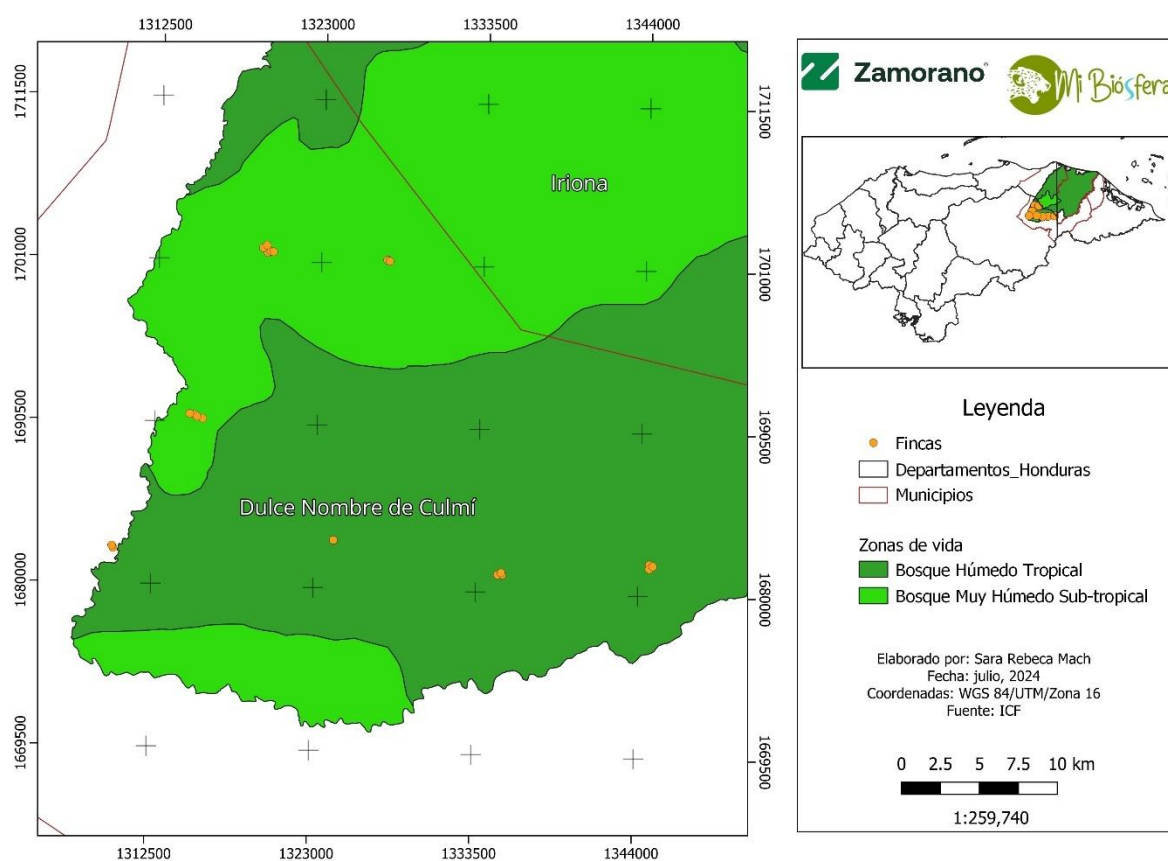
Área de Estudio

La RHBRP está dividida en tres áreas conocidas como macrozonas: zona núcleo, zona de amortiguamiento y zona cultural. De la superficie total de la biósfera, 196,000 ha pertenecen a la zona

de amortiguamiento; 390,000 ha corresponden a la zona cultural; y 210,000 ha constituyen la zona núcleo. En Olancho se encuentra una parte de amortiguamiento de la reserva, lugar donde se realizó este estudio, específicamente en ocho fincas ubicadas en el municipio Dulce Nombre de Culmí (Figura 1). En este municipio, existe una alta actividad ganadera, producción de ganado bovino lechero, cárnico, cultivos de café y extracción de madera (Sunderlin y Rodríguez, 1996).

Figura 1

Mapa de ubicación de las fincas y zonas de vida del área de estudio



Selección de las Fincas Ganaderas

El estudio se llevó a cabo en ocho fincas ganaderas manejadas por el proyecto Mi Biósfera en el municipio Dulce Nombre de Culmí. En el Cuadro 1 se muestra la información de cada finca, como el número y nombre de cada una, así como las coordenadas de posicionamiento. Los datos fueron

obtenidos de los planes de manejo de las fincas ganaderas del proyecto Mi Biósfera. Estos planes de manejo cuentan con un mapa de ordenamiento de las fincas por tipos de usos y coberturas.

Cuadro 1

Ubicación de las fincas ganaderas en el municipio Dulce Nombre de Culmí

No. de finca	Nombre de la finca	Coordenada X	Coordenada Y
1	Finca Las Marías	0680921	1687800
2	Finca Río Negro Pisijire	0672908	1687811
3	Finca Los Mangos	0663384	1669187
4	Finca Cielo Azul	0698351	1668033
5	Finca Sawuasón	0688395	1664262
6	Finca La Llorona	0677314	1669512
8	Finca Pao	0710670	1668348
12	Finca El Zapote	0680921	1687370

Nota. Coordenadas X, Y= UTM, WGS84, 16 N.

Definición de los Tipos de Coberturas

Para el análisis de los datos obtenidos fue necesario caracterizar los tipos de coberturas. Según el ICF (2019), la cobertura de la tierra se define como cobertura física y biológica de la superficie de la tierra, incluyendo superficies artificiales, agricultura, bosques seminaturales, tierras húmedas y cuerpos de agua. Para este estudio se definieron cuatro tipos de coberturas definidas por el proyecto Mi Biósfera para planificar el uso del suelo en las fincas, las cuales se describen a continuación:

Bosque (B)

Corresponde a una cubierta forestal constituida por una diversidad de especies arbóreas latifoliadas o de hoja ancha. Este tipo de cubierta vegetal corresponde a las fases 2 y 3 de la sucesión ecológica, en donde las especies pioneras y de crecimiento rápido son reemplazadas por especies más competitivas y mejor adaptadas a las condiciones ambientales, conformando una estructura forestal más compleja y estratificada.

Guamil o Vegetación Secundaria (G)

Comprende aquella cobertura vegetal originada luego de la intervención, es una vegetación compuesta principalmente por especies arbustivas y arbóreas que se forman a través de un proceso

natural de sucesión ecológica (fase 1). Comprende especies pioneras, con alta capacidad de dispersión y adaptación, que, gradualmente van siendo reemplazadas por otras más competitivas. Este tipo de vegetación secundaria se usa para promover la recuperación y restauración de suelos.

Potrero en Transición (PT)

Esta cobertura está en fase de transición, pasando de ser un potrero de uso intensivo a convertirse en guamil, un área en proceso de regeneración natural. Este cambio de cobertura fue definido y establecido por el proyecto Mi Biósfera como parte de sus estrategias de restauración de ecosistemas. Antes, esta zona se usaba de forma intensiva como potrero para la ganadería. El proyecto ha identificado este espacio como un área potencial para liberarlo de dicho uso y permitir que se inicie un proceso de restauración natural de la vegetación.

Potrero Intensivo (PI)

Este tipo de cobertura corresponde a un sistema de manejo de pasturas, donde se encuentra la actividad ganadera. En esta cobertura predominan los pastos, sin embargo, se puede encontrar la presencia de árboles y arbustos dispersos.

En el Cuadro 2 se muestra la distribución del tipo de cobertura en cada finca, así como el área (ha) que corresponde a cada finca del proyecto Mi Biosfera. La finca 2 es la más extensa con un área total de 132.4 ha, de las cuales el 22% corresponde a bosque, el 67% a potrero en transición, el 10% a potrero intensivo y 1% a guamil. Mientras que, la finca 12 cuenta con menor extensión, siendo su área total de 15.32 ha.

Cuadro 2

Distribución y área (ha) de los tipos de cobertura en cada finca ganadera

Número de finca	Tipo de cobertura				Total área
	Bosque	Guamil	Potrero en transición	Potrero intensivo	
Finca 1	24.64	5.9	33.82	25.60	89.96
Finca 2	28.63	1.33	89.44	13.00	132.4
Finca 3	N/A	N/A	83.32	20.78	104.1
Finca 4	N/A	N/A	60.31	24.61	84.92
Finca 5	4.7	5.1	52.36	37.72	99.88

Número de finca	Tipo de cobertura				
	Bosque	Guamil	Potrero en transición	Potrero intensivo	
Finca 6	N/A	N/A	16.39	16.61	33
Finca 8	N/A	N/A	45.66	55.99	101.65
Finca 12	6.95	N/A	N/A	8.37	15.32

Nota. N/A= no aplica. Datos obtenidos de los planes de manejo de finca del proyecto Mi Biósfera.

Base de Datos de Carbono Orgánico del Suelo y Carbono de la Biomasa

En el estudio, se evaluaron datos recolectados por el proyecto Mi Biósfera en fincas ganaderas del municipio de Dulce Nombre de Culmí, Olancho entre el periodo de 2022-2023. El muestreo y la recolección de los datos de campo estuvo a cargo de los técnicos del Proyecto Mi Biosfera. De acuerdo con la información proporcionada por el personal técnico del Proyecto, se documentó la metodología de muestreo y recolección de datos. Es importante mencionar que fue una nueva metodología propuesta por el proyecto.

De acuerdo con el trabajo de campo realizado por los técnicos del proyecto, para la recolección de datos del COS se hizo una selección al azar de una coordenada en una malla de puntos obtenido del Modelo Digital de Elevaciones de 15 × 15 m de resolución. En la coordenada seleccionada se tomó una muestra compuesta de tres submuestras de suelo a 20 cm de profundidad. Las muestras de suelo fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de Zamorano por medio del método *Walkley & Black* para estimar el contenido de carbono en el suelo, y para la densidad se utilizó el método del cilindro. Los datos de COS se encontraban en una base de datos de Excel® del proyecto Mi Biosfera. La base de datos para el COS contenía información detallada sobre: número de finca, número de muestra, uso del suelo, profundidad de muestreo (20 cm), DA, porcentaje de carbono orgánico y porcentaje de materia orgánica

De igual forma, de acuerdo con el trabajo de campo de los técnicos del proyecto, para la recolección de datos del C de la biomasa aérea se realizó un inventario forestal estableciendo parcelas en las ocho fincas en cada tipo de cobertura en las coordenadas de muestreo del COS, en cada parcela se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura de árboles (m). Las parcelas fueron de 500 m² para fustales (árboles mayores a 10 cm de DAP) y de 100 m² para latizales (árboles menores a 10 cm

de DAP). Los datos del inventario se encontraban en una base de datos de Excel®. Las bases de datos se ordenaron de manera lógica y coherente para su análisis.

Estimación del Carbono de la Biomasa Aérea

La biomasa del componente arbóreo se estimó en todos los tipos de cobertura (B, G, PI, PT) de ocho fincas ganaderas, utilizando ecuaciones alométricas encontradas en la literatura, para ello se tomó en cuenta la zona de vida y tipo de bosque (Ibrahim et al., 2007; Rojas-Vargas et al., 2019; Torres-Rivera et al., 2011). La ecuación alométrica para bosques secundarios se utilizó para estimar la biomasa del tipo de cobertura de B y G. Mientras que, la ecuación para árboles en potrero se utilizó para estimar la biomasa de PT y PI (Cuadro 3).

Cuadro 3

Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa en árboles en distintos tipos de cobertura

Tipo de cobertura	Ecuación alométrica	Fuente
Bosques y regeneración (DAP 10 – 112 cm)	$B = 21.297 - 6.953 \times (DAP) + 0.740 \times (DAP^2)$	(Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2003) ; (Rojas-Vargas et al., 2019)
Árboles en potrero	$\text{Log}_{10} B = -2.18 + 0.08 (DAP) - 0.0006 (DAP^2)$	(Ruíz García, 2002)

Nota. B= biomasa aérea (kg/árbol), (t/árbol); DAP= diámetro a la altura del pecho (cm).

La biomasa fue multiplicada por 0.5 para estimar el contenido de carbono (IPCC, 2003), lo que representa que el 50% de la biomasa del árbol es C (Acosta-Mireles et al., 2009) (Ecuación 1).

$$C = B \times 0.5 \quad [1]$$

Donde:

C = Carbono (kg)

B = Biomasa (kg)

Para estimar las toneladas de C por hectárea en las fincas por cada tipo de cobertura, se utilizó la Ecuación 2.

$$C \text{ (t/ha)} = \frac{CC \times 10,000 \text{ m}^2}{TP} \quad [2]$$

Donde:

CC = Contenido de carbono (t/árbol)

TP = Tamaño de parcela (m²)

Estimación del Carbono Orgánico del Suelo

Se determinó el carbono del suelo por hectárea según los datos brindados de DA, profundidad del suelo y porcentaje de C en cada uno de los tipos de uso. Esto se realizó mediante la Ecuación 3 propuesta por La Cruz-López et al. (2024).

$$\text{COS (t C/ha)} = \frac{CC \times DA \times PS \times 10,000}{100} \quad [3]$$

Donde:

COS = Carbono orgánico del suelo

CC = Contenido de carbono en las muestras de suelo (%)

DA = Densidad aparente de suelo (g/cm³)

PS = Profundidad de suelo muestreado (0.20 m)

Diseño del Estudio

Con la finalidad de analizar el efecto de los tipos de cobertura en el COS y la DA, se realizó un diseño de bloques completos al azar, en donde se determinaron cuatro tratamientos que corresponden a los tipos de cobertura: B, G, PT y PI. Los bloques corresponden a tres fincas seleccionadas, ya que, solamente en estas se encontraban los cuatro tipos de cobertura.

Análisis Estadístico

Para este estudio se comprobó la normalidad de los datos de COS y la DA por el método de *Shapiro Wilks*, teniendo como hipótesis nula que los datos tienen una distribución normal y como

hipótesis alterna que los datos tienen una distribución no normal. Para este análisis se tuvo en cuenta un nivel de significancia de 0.05.

Para desarrollar el análisis de las pruebas del COS y DA se empleó la prueba de Análisis de Varianza (ANDEVA) de una vía, la cual corresponde a las dos variables, con esto se comprobó si existían diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en cada variable respuesta, tomando en cuenta un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Debido a que solamente la DA presentó diferencias estadísticas, se procedió a realizar una prueba de *Duncan* para separación de medias y así conocer las diferencias significativas entre los cuatro tipos de coberturas que se generaron según las diferencias estadísticas de cada uno de ellos. Los análisis estadísticos se realizaron en el programa "Infostat©", versión 2020.

Análisis de Correlación

Se realizó un análisis de correlación de *Pearson* entre los contenidos de COS y la variable de DA, con el fin de determinar si existía una relación entre estas dos variables. La correlación se realizó en el programa "Infostat©", versión 2020.

Resultados y Discusión

Estimación del Carbono de la Biomasa Aérea

En cada finca se estimó el contenido de carbono para cada tipo de cobertura. Es importante resaltar que no en todas las fincas se encontraron todos los tipos de cobertura, y en otras fincas no se encontraron árboles en las parcelas analizadas. En el Cuadro 4 se muestran las toneladas de C por hectárea en cada tipo de cobertura por cada finca. También, se muestran los valores máximos y mínimos por cada tipo de cobertura

Cuadro 4

Estimación del carbono de la biomasa aérea (t C/ha) de cada tipo de cobertura en las fincas ganaderas

Número de finca	Tipo de cobertura			
	Bosque	Guamil	Potrero en transición	Potrero intensivo
Finca 1	99.00	0	1.93	23.48
Finca 2	24.80	24.2	3.96	0
Finca 3	N/A	N/A	10.88	0
Finca 4	N/A	N/A	16.60	0
Finca 5	103.49	2.71	4.48	0
Finca 6	N/A	N/A	2.39	0
Finca 8	N/A	N/A	3.02	25.98
Finca 12	67.22	N/A	N/A	0
Máx	99.00	24.2	16.60	25.98
Mín	24.80	0	0	0

Nota. N/A= no aplica.

El contenido de C en la biomasa de bosques reportados en este estudio, se asemejan a los reportados por Ibrahim et al. (2007), quienes estimaron un almacenamiento de carbono en bosques entre 23.0 y 158 t C/ha; Rojas-Vargas et al. (2019), también estimaron 124.52 t C/ha para bosques en sistemas ganaderos de Colombia. Para el guamil, se encontraron valores similares a los reportados por Lazo Ulloa (2014), que corresponde a un valor medio de 26.35 t C/ha. Por otra parte, para los potreros en transición, Ibrahim et al. (2007) reportan valores de 12.5 t C/ha para pasturas con árboles (110 árboles/ha), las variaciones del C en este estudio pueden relacionarse con la densidad de árboles por hectárea. Por último, para potreros se han reportado valores de 9.5 t C/ha (Orellana Díaz, 2012). Sin embargo, los valores 25.98 t C/ha obtenidos en este estudio pueden deberse a la incorporación de

árboles en los potreros intensivos, lo cual aumenta la densidad de árboles por hectárea. La biomasa aérea puede depender de la cobertura o sistema de uso y de otras variables como la densidad de árboles, tipo de especies, edad del árbol y estratos (Pompa-García et al., 2017).

Se estimó la cantidad de C de la biomasa aérea por cada finca y por cada tipo de cobertura en el total del área de las fincas, obteniendo 8,659.94 t de C en un área de 661.23 ha (13.09 t C/ha). La cobertura que presentó mayor cantidad de C fue la de bosque por ser la que presentó mayor cantidad de árboles por hectárea, mientras que el guamil obtuvo la menor cantidad de C por la baja densidad de árboles (Anexo C) y porque solo se encuentra en tres fincas (Cuadro 5).

Cuadro 5

Estimación del carbono (t) de la biomasa aérea total en las ocho fincas ganaderas

Número de finca	Tipo de coberturas				Total
	Bosque	Guamil	Potrero en transición	Potrero intensivo	
Finca 1	2,439.36	0	65.56	601.21	3,987.71
Finca 2	710.02	32.19	70.99	0	1,077.56
Finca 3	N/A	N/A	907.16	0	907.16
Finca 4	N/A	N/A	1,001.38	0	1,001.38
Finca 5	486.42	13.80	234.44	0	939.42
Finca 6	N/A	N/A	37.84	0	37.85
Finca 8	N/A	N/A	137.98	1,454.57	1,592.55
Finca 12	467.24	N/A	N/A	0	662.26
Total	4,103.04	45.99	2,455.13	2,055.78	8,659.94

Nota. N/A= no aplica.

Estimación del Carbono Orgánico del Suelo

La estimación del COS también se realizó por cada tipo de cobertura en las siete fincas (Cuadro 6), se puede observar que el valor máximo total lo presenta el bosque, mientras que el valor mínimo total lo presenta el potrero en transición, con 181.74 y 29.53 t C/ha, respectivamente. Los datos son similares a los reportados por Raj Aryal et al. (2018), quienes determinaron un almacenamiento de carbono de 144.45 t C/ha en áreas forestales y 75.95 t C/ha en áreas con potreros. También, Ramos Veintimilla et al. (2022), determinaron que, en bosques secundarios se pueden encontrar 85.80 t C/ha. Por otra parte, para coberturas de pastizales Castillo-Pacheco et al. (2016), determinaron 99.8 t C/ha.

La cobertura de bosque presentó mayores valores debido a como lo afirman Raj Aryal et al. (2018), existe una mayor adición de materia orgánica.

Cuadro 6

Estimación del carbono orgánico del suelo (t C/ha) de cada tipo de cobertura en las fincas ganaderas

Número de finca	Tipo de cobertura			
	Bosque	Guamil	Potrero en transición	Potrero intensivo
Finca 1	181.74	101.48	122.76	123.94
Finca 2	120.11	80.30	109.42	116.62
Finca 3	N/A	N/A	29.53	60.93
Finca 4	N/A	N/A	99.04	126.08
Finca 5	65.19	93.84	105.20	62.48
Finca 6	N/A	N/A	155.01	113.44
Finca 8	N/A	N/A	77.09	45.12
Finca 12	83.14	N/A	N/A	69.65
Máx	181.74	101.48	155.01	126.08
Mín	65.19	80.30	29.53	45.12

Nota. N/A= no aplica.

Se estimó la cantidad de carbono del suelo por cada finca y por cada tipo de cobertura en la totalidad del área de cada finca, se obtuvo un total de 60,333.28 t de C en un área de 661.23 ha, la cobertura que representa mayor almacenamiento de C es el de PT, esto se debe a la superficie que ocupa dentro de las fincas, mientras que, el guamil representó el menor almacenamiento de carbono (Cuadro 7). En el Anexo A se muestra un resumen de las toneladas de C de la biomasa y del suelo por cada por cada tipo de cobertura en el total de las 661.23 ha.

Cuadro 7

Estimación del carbono (t) del suelo total en las ocho fincas ganaderas

Número de finca	Tipo de coberturas				Total
	Bosque	Guamil	Potrero en transición	Potrero intensivo	
Finca 1	4,478.12	598.73	4,151.74	3,172.92	12,401.51
Finca 2	3,438.63	106.80	9,786.17	1,516.09	14,847.69
Finca 3	N/A	N/A	2,460.01	1,266.08	3,726.69
Finca 4	N/A	N/A	5,972.86	3,102.88	9,075.74
Finca 5	306.39	478.58	5,508.17	2,356.75	8,649.89
Finca 6	N/A	N/A	2,540.68	1,884.238	4,424.92
Finca 8	N/A	N/A	3,519.84	2,526.269	6,046.11
Finca 12	577.80	N/A	N/A	582.937	1,160.73
Total	8,800.946	1,184.115	33,940.06	16,408.15	60,333.28

Nota. N/A= no aplica.

Evaluación del Carbono Orgánico del Suelo en las Coberturas

Con la finalidad de evaluar las diferencias significativas del COS por cada tipo de cobertura, se realizó un diseño de bloques al azar con las fincas en las que se encontraban los cuatro tipos de cobertura. Se obtuvo que el promedio más alto fue de B con 122.35 t C/ha, mientras que, la cobertura de PI y PT tuvieron valores de 101.07 y 112.46 t C/ha, respectivamente. Mientras que, el G tuvo el valor más bajo que corresponde a 91.87 t C/ha (Cuadro 8). Estos resultados se asemejan a los obtenidos en un estudio llevado a cabo en fincas ganaderas de Colombia, Nicaragua y Costa Rica, en donde se estimaron 117.53 t C/ha en pasturas con baja densidad de árboles, mientras que en el bosque secundario se obtuvieron 124.58 t C/ha (Ibrahim et al., 2007). Asimismo, se registran datos similares en un estudio realizado en Colombia, en donde se evaluó el impacto del uso del suelo sobre el COS, se determinó que en sistemas forestales se almacenan 100.5 t C/ha, mientras que en un área de pasturas se almacenan 75.55 t C/ha (Mondragón Valencia et al., 2023).

Cuadro 8

Carbono orgánico del suelo por cada tipo de cobertura en las fincas ganaderas evaluadas

Tipo de uso del suelo	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Bosque	COS t/ha	3	122.35	58.31	65.19	181.74
Guamil	COS t/ha	3	91.87	10.73	80.30	101.48
Potrero en transición	COS t/ha	3	112.46	9.17	105.20	122.76
Potrero intensivo	COS t/ha	3	101.07	33.57	62.48	123.94

Nota. n= número de observaciones; D.E.= Desviación estándar; Mín= Mínimo; Máx= Máximo

Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks para COS

Para efectos del análisis estadístico se realizó la prueba de *Shapiro Wilks*, el valor de coeficiente de concordancia de Kendall (W) es 0.92, indicando que los valores de toneladas de C se ajustan dentro de una distribución normal por lo que los valores se pueden agrupar dentro de la media. Además, el valor p es mayor a 0.05, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos tienen una distribución normal (Cuadro 9). El ajuste de los valores para toneladas por hectárea de COS muestra que los valores correspondientes se ajustan dentro de la normalidad (Anexo B).

Cuadro 9*Prueba de Shapiro Wilks para los datos de COS*

Variable	n	Media	Desviación estándar	W	p (unilateral)
COS t/ha	12	106.92	31.68	0.92	0.4746

Nota. n= número de observaciones; W= coeficiente de concordancia de Kendall; p= valor de significancia

Se desarrolló el análisis de la prueba ANDEVA, y se muestra que no existen diferencias significativas entre las variables, considerando un valor p. Es decir, que el COS no presenta diferencias estadísticas en los cuatro tipos de cobertura del suelo de tres fincas ganaderas evaluadas. También, se puede observar que el uso de bloques no fue eficiente debido a que el p-valor fue de 0.0609, este valor es mayor a 0.05, lo que significa que los bloques (fincas) no presentaron diferencias significativas (Cuadro 10).

Cuadro 10*Prueba ANDEVA de COS para los diferentes tipos de cobertura en la Reserva de la Biósfera del Río**Plátano*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6752.39	5	1350.48	1.89	0.1800
Cobertura	1589.72	3	529.91	0.74	0.6298
Bloque	51.62.68	2	2581.34	3.61	0.0609
Error	4298.40	6	714.90		
Total	11041.79	11			

Nota. FV= Fuente de variación; SC= Suma de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= valor F; p= valor de significancia

Los resultados coinciden con Raj Aryal et al. (2018), quienes evaluaron el almacenamiento de carbono en áreas forestales en un sistema ganadero en Chiapas, México. En el estudio no hubo diferencias significativas en el almacenamiento de COS de un área forestal (72.57 t C/ha) y de un área de potreros (74.37 t C/ha). También, Ibrahim et al. (2007) determinaron en Colombia, que no existen diferencias significativas en el COS en cuatro tipos de uso del suelo, bosques, pasturas degradadas, pasturas mejoradas sin árboles y sistemas silvopastoriles, 52.34, 68.51, 81.32 y 63.25 t C/ha, respectivamente. De igual manera, en un estudio realizado en fincas ganaderas de Costa Rica, se determinó que no hubo diferencias de COS entre un área de bosque (28.67 t C/ha) y de pasturas (33.67

t C/ha) en los primeros 20 cm del perfil del suelo (Rojas-Solano et al., 2022). La inexistencia de diferencias significativas en las concentraciones de carbono en el suelo puede ser atribuible al manejo del pastoreo, número de animales por unidad de superficie y adición de MO, variables que no fueron consideradas en este estudio. Sin embargo, el contenido de carbono puede cambiar conforme al tiempo y esto se determina por medio de la captura de C, tal como lo afirman Bojórquez Serrano et al. (2015), el carbono orgánico del suelo puede comportarse de manera diferente dependiendo del cambio de cobertura, ya que puede generar ganancias o pérdidas en las reservas de C.

Sin embargo, existen estudios en los que sí se muestran diferencias significativas en la concentración de carbono en diferentes tipos de cobertura, tal como Cantú Silva y Yáñez Díaz (2018) explican que existe un efecto de la cobertura del suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo, y obtuvieron cantidades mayores de COS en áreas de matorrales que en áreas de pastizales y de uso agrícola. El cambio de matorral a otro sistema tuvo una reducción de COS, fluctuando de 2.4% hasta 66%. Por el contrario, Ramos Veintimilla et al. (2022) determinaron diferencias significativas del COS en pasturas mejoradas con alta densidad de árboles encontraron mayor COS (141.79 t C/ha), seguido de pasturas degradadas (133.22 t C/ha) y bosque secundario (85.80 t C/ha). También concluyen que el COS no solamente depende del sistema de uso, sino que también puede ser influenciado por fenómenos biofísicos, topográficos y climáticos (Reyna-Bowen et al., 2019).

Evaluación de la Densidad Aparente del suelo

En el Cuadro 11 se pueden observar los valores medios de DA en cada tipo de cobertura, el PT muestra el mayor valor promedio de DA (1.90 g/cm³), el siguiente es el PI (1.59 g/cm³). Por otra parte, el B y G son los que presentan los valores más bajos de DA, 1.35 y 1.33 g/cm³, respectivamente. Estos valores son cercanos a los obtenidos en un estudio en un sistema ganadero en México realizado por Raj Aryal et al. (2018), en donde determinaron una DA promedio de 1.39 g/cm³ en el área forestal, y una densidad promedio de 1.34 g/cm³ en el área de potrero. De la misma manera, en un estudio

realizado en México en diferentes tipos de uso del suelo, como bosque y pastura, se determinó una DA entre 1.0 y 1.7 g/cm³ (Cancela de los Santos et al., 2022). En un estudio realizado en fincas ganaderas en diferentes municipios de Colombia se mostraron valores elevados de DA con una media general de 1.48 ± 0.17 g/cm³, con un rango de variación de 1.40 g/cm³ a 1.69 g/cm³ (Contreras-Santos et al., 2021).

Cuadro 11

Densidad aparente del suelo por cada tipo de cobertura del suelo

Tipo de cobertura	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Bosque	g/cm ³	3	1.35	0.23	1.21	1.61
Guamil	g/cm ³	3	1.33	0.14	1.18	1.46
Potrero en transición	g/cm ³	3	1.90	0.09	1.80	1.97
Potrero intensivo	g/cm ³	3	1.59	0.15	1.42	1.71

Nota. n= Número de observaciones; D.E.= Desviación estándar; Mín= Mínimo; Máx= Máximo

Se desarrolló el análisis de la prueba ANDEVA (Cuadro 12), el cual muestra que existen diferencias significativas entre las variables, considerando un valor $p < 0.05$. Es decir, que la DA presenta diferencias significativas en al menos uno de los cuatro tipos de uso del suelo en las fincas ganaderas.

Cuadro 12

Prueba ANDEVA de DA para los diferentes tipos de cobertura del suelo en la Reserva de la Biósfera del Río Plátano

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.75	5	0.15	9.98	0.0072
Cobertura	0.64	3	0.21	14.12	0.0040
Bloque	0.11	2	0.06	3.76	0.0875
Error	0.09	6	0.02		
Total	0.84	11			

Nota. FV= Fuentes de variación; SC= Suma de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F; p= Valor de significancia

Con el desarrollo de la prueba “Duncan” se clasificaron los tipos de cobertura de suelo basándose en la DA (Cuadro 13). Se encontró una diferencia significativa mayor en la densidad de la cobertura de PT que en los otros tipos de cobertura ($p < 0.05$). El PI muestra una media menor que el

PT, pero mayor que B y G, y es significativamente diferente de ambos. Por otra parte, el B y G tienen medias muy similares y no son significativamente diferentes entre sí.

Cuadro 13

Prueba de Duncan para los diferentes tipos de cobertura del suelo

Cobertura	Medias	n	E.E.		
Potero en transición	1.90	3	0.07	A	
Potrero intensivo	1.59	3	0.07		B
Bosque	1.35	3	0.07		C
Guamil	1.33	3	0.07		C

Nota. Coberturas con diferente letra presentan diferencias significativas ($p < 0.05$); n= Número de observaciones; E.E.= Error estándar

En un estudio realizado en Colombia por Andrade-Castañeda et al. (2016), se determinó que existen diferencias significativas en la DA entre los bosques y campos agropecuarios. Los resultados obtenidos mostraron que los bosques presentaron una mayor densidad de 1.8 g/cm^3 , mientras que en los campos agropecuarios fue de 1.0 g/cm^3 . Esto se debe probablemente al manejo orgánico de las pasturas. Sin embargo, de acuerdo con Muscolo et al. (2014), cuando la densidad aparente incrementa, la compactación del suelo también incrementa y esto puede afectar la capacidad de retención de agua y limitar el crecimiento de las raíces, ya que, la densidad se modifica por las partículas sólidas y el espacio poroso, que a su vez condiciona la materia orgánica.

En suelos de textura fina, la DA varía entre 1.0 y 1.2 g.cm^{-3} , mientras que en los suelos arenosos es mayor, entre 1.02 y 1.62 g.cm^{-3} . En el estudio presentado los resultados en el tipo de cobertura de PT superaron este rango. De la misma manera, Jiang et al. (2011) afirman que la actividad agropecuaria puede incrementar la densidad aparente de los suelos. El G y el B probablemente presentaron menores valores de densidad aparente, producto de la presencia de arbustos y árboles, los cuales pueden generar mayor cantidad de materia orgánica y carbono acumulado, lo cual puede contribuir a una mejor agregación, estructura de suelo y mejor aireación (Contreras-Santos et al., 2021).

Correlación entre Carbono Orgánico del Suelo y Densidad Aparente del Suelo

En el análisis de correlación (Cuadro 14), se determinó un coeficiente r de 0.26, lo cual indica que existe una correlación positiva muy débil entre el carbono orgánico y la DA. Considerando un valor de $p < 0.05$, se determina que no hay suficiente evidencia para concluir que la correlación observada entre estas dos variables es estadísticamente significativa. Sin embargo, Andrade-Castañeda et al. (2016) afirman que con el aumento del COS, la DA se reduce, mejorando la calidad del suelo al incrementar la cantidad de macroagregados, lo que a su vez favorece los flujos de agua y nutrientes.

Cuadro 14

Correlación entre el carbono orgánico del suelo y la densidad aparente

	Estadístico	DA (g/cm ³)
r		0.26
p		0.20

Nota. r =Coeficiente de correlación; p =Valor de significancia

No obstante, existe un estudio realizado por Mondragón Valencia et al. (2023), que coincide con los resultados obtenidos en este estudio, en donde no existió una correlación estadísticamente significativa entre el COS y la DA ($r = -0.26$; $p = 0.22$). También, en otro estudio realizado en un paisaje agropecuario de Colombia no se encontró una correlación entre estas dos variables a 20 cm de profundidad ($r = -0.09$; $p = 0.56$) (Andrade-Castañeda et al., 2016).

Para poder determinar el potencial de captura de C en los diferentes tipos de cobertura analizados, así como los cambios a través del tiempo, se deben realizar otros ensayos y recolección de datos para ser analizados, lo cual favorecerá la toma de decisiones en la implementación de sistemas agrosilvopastoriles o agroforestales en los procesos de mitigación en las fincas ganaderas del proyecto Mi Biósfera.

Conclusiones

Se estimó la cantidad de carbono de la biomasa y del suelo en cada finca con diferentes tipos de cobertura. La cobertura con un valor máximo en la cantidad de almacenamiento de carbono de la biomasa por unidad de área (siendo esta de una hectárea) fue la del bosque por ser la que presentó mayor densidad de árboles por unidad de área. De la misma manera, la cobertura con un valor máximo de carbono orgánico del suelo por unidad de área fue la de bosque y puede atribuirse a una mayor incorporación de materia orgánica.

No se encontraron diferencias significativas del carbono orgánico del suelo en los diferentes tipos de cobertura de las tres fincas evaluadas. La inexistencia de diferencias significativas en los contenidos de carbono en el suelo puede ser atribuible al manejo del pastoreo, número de animales por unidad de superficie, adición de MO, así como a condiciones ambientales, variables que no fueron consideradas en este estudio.

Recomendaciones

Aumentar el número de muestras por finca, al menos tres de cada tipo de cobertura, para obtener una estimación mayormente representativa de la cantidad de carbono de la biomasa y del suelo en cada tipo de cobertura.

Realizar la estimación de carbono en otros componentes del ecosistema que suman a la cantidad de carbono como el de la hojarasca o mantillo, así como de arbustos, con la finalidad de tener una estimación de C total con más componentes de los estratos.

Realizar parcelas permanentes para la medición constante de la cantidad de carbono de biomasa y del suelo, esto con la finalidad de estimar el potencial de secuestro de carbono para futuros estudios.

Mantener los bosques y guamiles en las fincas para mantener niveles bajos en densidad aparente del suelo, lo cual permite una mejor actividad de microorganismo y menor compactación. Por otra parte, para el área de potreros intensivos se debe tener un manejo adecuado para evitar la compactación y por lo tanto, altos niveles en densidad aparente.

Referencias

- Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F. y Lavariega, D. (2009). Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Terra Latinoamericana*, 27(2), 105–114. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311834003.pdf>
- Aguilar-Arias, H., Ortiz-Malavassi, E., Vílchez-Alvarado, B. y Chazdon, R. L. (2012). Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 22–31. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v9i22.360>
- Andrade-Castañeda, H. J., Segura-Madrigal, M. A. y Rojas-Patiño, A. S. (2016). Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en piedras, Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 233–241. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.24359>
- Bautista, J. I. y Arévalo Hernández, J. J. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, 26, 20–28. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/238/2382460002/html/>
- Bojórquez Serrano, J. I., Castillo Pacheco, L. A., Hernández Jiménez, A., García Paredes, J., Madueño Molina y Alberto (2015). Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas. *Cultivos Tropicales*, 34(6), 63–69. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362015000400008&script=sci_arttext&tIng=en
- Burbano-Ojuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 34(1), 82–96. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.
- Cancela de los Santos, G. M., Chagoya-Fuentes, J. L., Rodríguez Cabrera, R. y Alanís-Méndez, J. L. (2022). Contenido de carbono orgánico en suelos del Área Natural Protegida “Sierra de Otontepec”. *Revista Biológico-Agropecuaria Tuxpan*, 10(1), 28–40. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v10i1.394>
- Cantú Silva, I. y Yáñez Díaz, M. I. (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>
- Casiano-Domínguez, M., Paz-Pellat, F., Rojo-Martínez, M., Covalada-Ocon, S. y Aryal, D. R [Deb Raj] (2018). El carbono de la biomasa aérea medido en cronosecuencias: primera estimación en México. *Madera Y Bosques*, 24(spe), e2401894. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712018000400404
- Castillo-Pacheco, L. A., Bojórquez-Serrano, J. I., Hernández-Jiménez, A. y García-Paredes, D. (2016). Contents of soil organic carbon under different agricultural and vegetation cover. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 72–78. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2035.4805>
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Cadena-Torres, J. y Fallas-Guzmán, C. K. (2019). Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe Colombiano. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 29–41. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.39999>
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Falla-Guzmán, C. K., Garrido-Pineda, J. F. y Rodríguez-Vitola, J. L. (2021). Caracterización de sistemas ganaderos del Caribe para cuantificación de

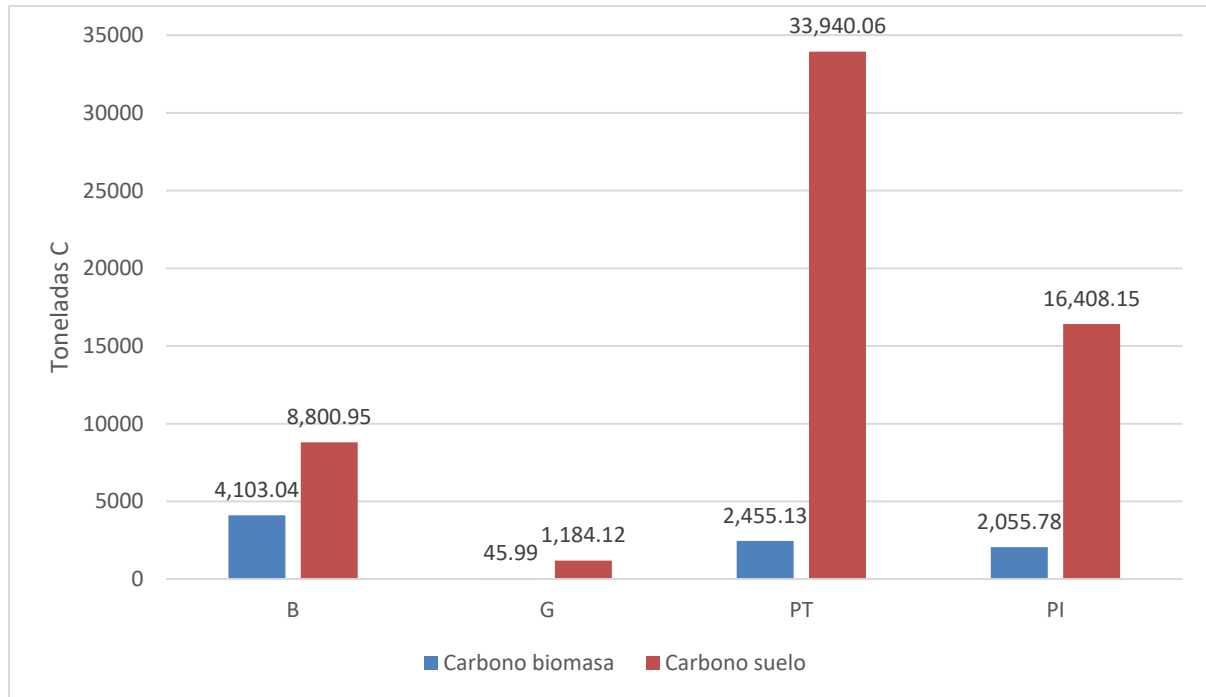
- índices de calidad del suelo. *Agronomía Costarricense*, 45(2), 71–87. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/47768/47464>
- Galicia, L., Gamboa Cáceres, A. M., Cram, S., Chávez Vergara, B., Peña Ramírez, V., Saynes, V. y Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 1–29. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0187-57792016000100001
- Gelaw, A. M., Singh, B. R. y Lal, R. (2014). Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 188, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.035>
- Glick, D. y Betancourt, J. (1983). The Rio Platano Biosphere Reserve: Unique Resource, Unique Alternative. *Ambio*, 12(3/4), 168–173. <http://www.jstor.org/stable/4312906>
- González Molina, L., Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., Báez Pérez, A. y González Camacho, J. M. (2014). Cambios de carbono orgánico del suelo bajo escenarios de cambio de uso de suelo en México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1275–1285. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000700011
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F. y Rojas, J. (2007). 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*(45). https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7934/Almacenamiento_de_carbono_en_el_suelo.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Instituto de Conservación Forestal. (2013). *Plan de Manejo Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano (2013-2025)*. https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/08/Plan-de-Manejo_Version-Final_RHBRP_abril-2014.pdf
- Instituto de Conservación Forestal. (2015). *Informe del Estado de Conservación Sitio de Patrimonio Mundial Natural No. 196 Reserva del Hombre Y La Biosfera Río Plátano*. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal Áreas. https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/08/INFORME-RHBRP_SITIO-DE-PATRIMONIO_UNESCO-2015-FINAL.pdf
- Instituto de Conservación Forestal. (2019). *Ficha técnica del sistema de clasificación del mapa forestal y cobertura de la tierra de Honduras 2018*. Unidad Nacional de Monitoreo Forestal. <https://sigmof.icf.gob.hn/wp-content/uploads/2023/02/Sistema-de-Clasificacion-Mapa-Cobertura-Forestal-y-uso-del-suelo-2018.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG_LULUCF_FULLEN.pdf
- Jiang, X., Wright, A. L., Wang, X. y Liang, F. (2011). Tillage-induced changes in fungal and bacterial biomass associated with soil aggregates: A long-term field study in a subtropical rice soil in China. *Applied Soil Ecology*, 48(2), 168–173. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.03.009>
- La Cruz-López, C. A. de, Villanueva-López, G., Casanova-Lugo, F., Martínez-Zurimendi, P. y Aryal, D. R. [D. R.] (2024). Almacenamiento de carbono en la biomasa arbórea y el suelo en sistemas

- silvopastoriles del trópico húmedo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(1), Artículo 022, 1–14. <https://doi.org/10.56369/tsaes.5055>
- Lazo Ulloa, A. A. (2014). *Cambios en la cobertura del suelo y cuantificación del carbono almacenado en los diferentes usos de la tierra como lineamientos en el desarrollo de estrategias de mitigación ante el cambio climático en la zona de amortiguamiento de la Reserva de Biósfera Río Plátano, Honduras* [Tesis de posgrado]. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7079/Cambios_en_la_cobertura_del_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mondragón Valencia, V. A., Moreno Hurtado, F. y Jaramillo Jaramillo, D. F. (2023). Impacto del uso de suelo sobre el secuestro del carbono orgánico en un área natural de Medellín, Colombia. *Acta Agronómica*, 71(1), 39–46. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n1.101342>
- Muscolo, A., Panuccio, M. R., Mallamaci, C. y Sidari, M. (2014). Biological indicators to assess short-term soil quality changes in forest ecosystems. *Ecological Indicators*, 45, 416–423. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.04.047>
- Orellana Díaz, O. (2012). *Estimación del carbono almacenado en la zona núcleo del Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC) Honduras, utilizando la teledetección y sistemas de información geográfica* [Tesis de Maestría]. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/11676/A11098e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pompa-García, M., Sigala-Rodríguez, J. A., Jurado, E. y Flores, J. (2017). Tissue carbon concentration of 175 Mexican forest species. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 10(4), 754–758. <https://doi.org/10.3832/ifor2421-010>
- Raj Aryal, D., Gómez Castro, H., Del Carmen García, N., José Ruiz, Octavio de Jesús, Molina Paniagua, L. F., Jiménez Trujillo, J. A., Venegas Venegas, J. A., Pinto Ruiz, R., Ley de Coss, A. y Guevara Hernández, F. (2018). Potencial de almacenamiento de carbono en áreas forestales en un sistema ganadero. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(48), 150–180. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.184>
- Ramos Veintimilla, R. A., Vera Vélez, R., Grijalva Olmedo, J. E. y Ramos Veintimilla, M. R. (2022). Carbono en el suelo de bosque secundario y pasturas. *Conciencia Digital*, 5(3.2), 91–106. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.2.2322>
- Reyna-Bowen, L., Vera-Montenegro, L. y Reyna, L. (2019). Soil-Organic-Carbon Concentration and Storage Soil-Organic-Carbon Concentration and Storage under Different Land Uses in the Carrizal-Chone Valley in Ecuador. *Applied Sciences*, 9(45), 1–9. doi:10.3390/app9010045
- Rojas-Solano, J., Brenes-Gamboa, S. y Abarca-Monge, S. (2022). Carbono en el suelo: comparación entre un área de pastos y un bosque. *InterSedes*, 23(47), 184–205. <https://doi.org/10.7440/res64.2018.03>
- Rojas-Vargas, E. P., Silva-Agudelo, E. D., Guillén-Motta, A. Y., Motta-Delgado, P. A. y Herrera-Valencia, W. (2019). Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 16(3), 35–46. <https://www.redalyc.org/journal/5600/560060661003/html/>

- Ruíz García, A. (2002). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua* [Tesis de posgrado]. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2148/Fijacion_y_almacenamiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Saynes Santillán, V., Etchevers Barra, J. D., Paz Pellat, F. y Alvarado Cárdenas, L. O. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 83–96. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100083
- Sunderlin, W. D. y Rodríguez, J. A. (1996). Ganadería, bosques latifoliados y Ley de Modernización Agrícola en Honduras: El caso de Olancho. *CIFOR*. https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-07S.pdf
- Torres-Rivera, Antonio, J., Espinoza-Domínguez, William, Reddiar-Krishnamurthy, Laskmi, Vázquez-Alarcón y Antonio (2011). Secuestro de carbono en potreros arbolados, potreros sin árboles y bosque caducifolio de Huatusco, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 543-549. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93920942033.pdf>
- Vallejo Larios, M. (2008). Zonas Indígenas versus Áreas Protegidas: el caso de la Reserva de la Biósfera del Río Plátano en Honduras. *Mesoamérica*, 37, 145–167. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2410937.pdf>

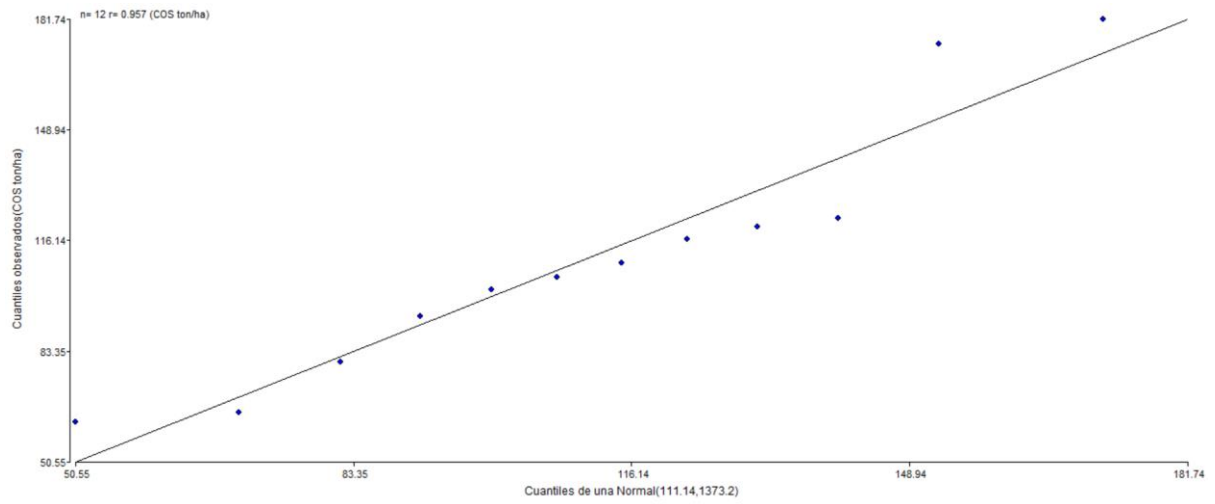
Anexos**Anexo A**

Toneladas de C de la biomasa y del suelo por cada tipo de cobertura en el total del área



Anexo B

Gráfica de Q-Qplot para prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para COS (t C/ha)



Anexo C

Árboles por parcela en cada finca y en cada tipo de cobertura

Finca	B	G	PT	PI
F01	47	0	12	5
F02	8	10	4	0
F03	N/A	N/A	2	0
F04	N/A	N/A	11	0
F05	42	2	7	0
F06	N/A	N/A	0	0
F08	N/A	N/A	3	5
F12	21	N/A	N/A	0

Nota. N/A= no aplica.