

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ESTIMACIÓN DE CARBONO EN PLANTACIONES DE PALMA
ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN LA COOPERATIVA
COOPEGOTH.R.L CORREGIMIENTO DE BACO, PROVINCIA DE
CHIRIQUÍ.**

**CARLOS ALBERTO GONZÁLEZ MIRANDA
4-774-1107**

**DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

2018

**ESTIMACIÓN DE CARBONO EN PLANTACIONES DE PALMA
ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN LA COOPERATIVA COOPEGOTH
R.L CORREGIMIENTO DE BACO, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O
PARCIAL DEBE SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

ING. FELICITA GONZÁLEZ M.Sc

DIRECTORA

ING. JOSÉ PINEDA M.Sc

COMITÉ

ING. AMILCAR BEITIA M.Sc

COMITÉ

**DAVID, CHIRIQUÍ
2018**

AGRADECIMIENTO

A Dios por la sabiduría brindada a lo largo de la vida y mi carrera como estudiante, además por la salud y la fuerza que me mantuvieron hasta llegar a la meta.

A mis padres Nerys Miranda y Calixto González por los consejos acertados y la fortaleza psicológica y económica brindada a lo largo de la vida universitaria.

A mis hermanas por los deseos y consejos brindados durante el periodo de la universidad.

A mis compañeros Ever Morales, Miguel Sáez, Cristhian Muñoz, José González, Odavis Moreno, Abdiel Martínez, Keneth Morán, Franklin De León, Karen Miranda, Gary Esquivel y Einar Gómez, los cuales me prestaron su ayuda en lo mucho y en lo poco para lograr los objetivos propuestos.

A la Licenciada Madja Horna y la Ingeniera Yarelis Cano por su ayuda y confianza brindada en el proceso de investigación.

A mi profesora asesora de tesis Felicita González y el profesor José Pineda por sus instrucciones y correcciones oportunas brindadas.

Al Ing. Diomedes Jiménez y Luis Alvarado de la cooperativa COOPEGOTH R.L por brindar su confianza a la investigación.

Carlos. A. González. M.

DEDICATORIA

Para aquellas personas que buscan soluciones en el sector agropecuario con el fin de elevar una producción sostenible.

Solo somos un instrumento en busca de alternativas para producir eficaz y amigable con el ambiente

Carlos. A. González. M.

ESTIMACIÓN DE CARBONO EN PLANTACIONES DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN LA COOPERATIVA COOPEGOTH.R.L CORREGIMIENTO DE BACO, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.

González. C. 2018. ESTIMACIÓN DE CARBONO EN PLANTACIONES DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*) EN LA COOPERATIVA COOPEGOTH.R.L CORREGIMIENTO DE BACO, PROVINCIA DE CHIRIQUI. Tesis Ingeniería en Manejo de Cuenca y Ambiente. Chiriquí. Facultad de Ciencias Agropecuaria Panamá, Universidad de Panamá. 75p.

RESUMEN

En esta investigación se estimó el carbono presente en tres compartimientos del cultivo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*), los cuales fueron estipe, hojas y suelo en la cooperativa de servicios múltiples Omar Torrijos Herreras con coordenada geográfica de 924771 latitud Norte y 303094 longitud Este, con el propósito de establecer el cultivo de palma aceitera en Panamá como medida de mitigación y producción sostenible. Se establecieron cuatro parcelas con dimensión de 2500 metros cuadrados en las cuales se seleccionaron 30 individuos por cada una. Se utilizó el diseño estadístico completo al azar y se analizaron los datos con la prueba de Fisher. Para obtener el carbono presente en el estipe se calculó a partir de la fórmula alométrica $Y = 6.666 + 12.826 * (HT^{0.5}) * \ln$, en las cuales fue necesaria medir variables como altura y diámetro, el carbono en las hojas se calculó a través de la constante $C = \text{Tallo} * 0.65$, explicada por Brown (1997) y el carbono almacenado en el suelo se calculó con base al porcentaje de carbono orgánico, densidad aparente y profundidad de muestreo. En el suelo se midieron variables como materia orgánica, la cual fue estimada a partir del método de Walkey- Black a una profundidad de muestreo de 20 centímetros, la densidad aparente fue estimada a través del método del cilindro de volumen conocido a una profundidad de 20 centímetros. En el estipe el carbono almacenado resultó con una media de 3.93 T C Ha^{-1} . En las hojas obtuvo 2.53 T C Ha^{-1} y el suelo con una media de $61.98 \text{ T C Ha}^{-1}$, el carbono total (Suelo + Estipe + Hojas) fue de $68.44 \text{ T C Ha}^{-1}$, por lo que el componente que aportó más carbono al sistema fue el suelo, estableciendo diferencia significativa en comparación al Estipe y Biomasa, afirmando la Hipótesis de investigación.

Palabras claves: Carbono, palma aceitera, materia orgánica, carbono orgánico,

ESTIMATION OF CARBON IN PLANTATIONS OF PALM OIL (*ELAEIS GUINEENSIS*) IN THE COOPERATIVE COOPEGOTH.R.L. BACO DISTRICT, PROVINCE OF CHIRIQUI.

Gonzalez, C. 2018. ESTIMATION OF CARBON IN PLANTATIONS OF PALM OIL (*Elaeis guineensis*) IN THE COOPERATIVE COOPEGOTH.R.L. BACO DISTRICT, PROVINCE OF CHIRIQUI. Thesis Watershed engineering and environmental management, Chiriquí. University of Panamá. 75p.

ABSTRACT

In this research the carbon present in three compartments of the oil palm (*Elaeis guineensis*) was estimated, which were stipe, leaves and soil in the Omar Torrijos Herreras multiple services cooperative with geographic coordinates of 924771 North latitude and 303094 East longitud. , with the purpose of establishing the cultivation of oil palm in Panama as a mitigation measure and sustainable production. Four plots with a size of 2500 square meter were established in which 30 individuals were selected for each. The complete statistical design was used at random and the data were analyzed with Fisher's test. To obtain the carbo present in the stipe was calculated from allometric formulas $Y = 6.666 + 12.826 * (HT^{0.5}) * \ln$, in which it was necessary to measure variable as height and diameter, the carbo in the leaves was calculated through of the constant carbon = Stem * 0.65, explained by Brown (1997) and the carbon stored in the soil was calculated based on the percentage of organic carbon, apparent density and depth of sampling. In the soil variable were measured as organic matter, which was estimated from the Walkey-Black method at a sampling depth of 20 centimeters, the apparent density was estimated through the cylinder method of known volume at a depth of 20 centimeters. In the stipe the stored carbon resulted with an average of 3.93 TC Ha⁻¹, in the leaves it obtained 2.53 TC Ha⁻¹ and the soil with an average of 61. 98 TC Ha⁻¹, the total carbon (Soil + Stipe + Leaves) was 68.44 TC Ha⁻¹. . So the component that contributed more carbon to the system was the soil, establishing a significant difference compared to the Stipe and Biomass, Affirming the research hypothesis.

Keywords: carbon, oil palm, organic matter, organic carbon.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
PÁGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos especificos	6
1.5. Hipótesis	7
1.6. Alcances y Limitaciones	7
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Cambio climático.....	8
2.2. Cambio climático en Panamá	9
2.2.1. Líneas del gobierno panameño sobre el cambio climático	9
2.3. Ciclo de Carbono	11
2.4. Protocolo de Kioto y Mecanismo de desarrollo limpio (MDL).....	12
2.5. Plantaciones de palma aceitera	14

2.5.1. Palma aceitera en Panamá	14
2.6. Característica botánica de la especie	15
2.6.1. <i>Elaeis guinnensis</i>	15
2.7. Métodos utilizados para determinar el carbono capturado en la biomasa.	16
2.8. Carbono orgánico en suelo	17
3. MARCO METODOLÓGICO	20
3.1. Descripción del área de estudio.....	20
3.1.1. Localización del área de estudio.....	20
3.1.2. Datos climáticos.....	21
3.1.3. Geología	21
3.1.4. Zona de vida.....	22
3.2. Metodología	22
3.2.1. Característica del área de muestreo.....	23
3.2.2. Estimación de la biomasa en la palma aceitera.....	24
3.2.3. Estimación del carbono orgánico en el suelo.	28
3.3. Diseño experimental	30
3.4. Parámetros evaluados	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
4.1. Carbono capturado en palma aceitera.....	35
4.1.1. Carbono en el componente Estipe.....	35
4.1.2. Carbono en el componente biomasa aérea (Hojas).	37
4.1.3. Carbono en el componente suelo	38
5. CONCLUSIONES.....	47
6. RECOMENDACIONES.....	49
7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	50
8. ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
I	ANÁLISIS QUÍMICO DEL LOTE 32-33. COOPEGOTH, BARÚ, CHIRIQUÍ. 2017.....	39
II	PARÁMETROS EVALUADOS EN EL SUELO POR PARCELA EN LA COOPERATIVA COOPEGOTH, LOTE 32-33,2017.....	40
III	CARBONO CAPTURADO POR COMPONENTE EN SISTEMA PALMERO. COOPEGOTH, R.L 2017.....	44
IV	ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA DETERMINAR DIFERENCIA ESTADÍSTICAMENTE DE CARBONO EN FUNCIÓN A LOS COMPONENTES	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS DE INVESTIGACIÓN, COOPEGOTH, 2017.....	20
2	CLASIFICACIÓN DE SUELOS EN PANAMÁ SEGUN IDIAP.2010.....	21
3	PARCELAS ESTABLECIDAS DENTRO DE LOS LOTES 32-33.COOPEGOTH, 2017.....	24
4	DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA PALMERA 2017.....	25
5	ESTIMACIÓN DE VARIABLE ALTURA 2017.....	26
6	PARCELAS DE MUESTREO PARA DENSIDAD APARENTE Y MATERIA ORGÁNICA, COOPEGOTH.R.L 2017.....	29
7	REPRESENTACIÓN DE LOS TRATAMIENTO PARA CADA UNO DE LOS COMPONENTES, COOPEGOTH, 2017.....	30
8	CARBONO CAPTURADO POR EL COMPONENTE ESTIPE, COOPEGOTH, 2017.....	36
9	CARBONO CAPTURADO POR EL COMPONENTE BIOMASA, COOPEGOTH, 2017.....	37
10	DENSIDAD APARENTE EN PARCELAS ESTABLECIDAS, COOPEGOTH, 2017.....	41
11	PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA Y CARBONO ORGÁNICO POR PARCELA, COOPEGOTH, 2017.....	42

12	CARBONO CAPTURADO EN EL SUELO POR PARCELA, COOPEGOTH, 2017.....	43
13	PORCENTAJE CAPTURADO POR CADA COMPONENTE EN EL SISTEMA PALMERO. 2017.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE 2017.....	58
2	DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA. 2017.....	58
3	DATOS DE ALTURA DE LAS PALMA ACEITERA POR PARCELAS. 2017.....	59
4	DIÁMETRO PROMEDIO DE ESTIPE POR PARCELAS 2017.....	61
5	INSTALACIONES DE LAS PLANTACIONES DE LA COOPERATIVA COOPEGOTH R.L 2017.....	62
6	IDENTIFICACIÓN DE LAS PARCELAS EN CAMPO 2017.....	62
7	ÁNÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA EN EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIA. 2017.....	63

1. INTRODUCCIÓN

Desde la convención del cambio climático en 1992, el enfoque central era permanecer dentro de los límites ecológicos y estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero para prevenir una peligrosa intervención antrópica en el clima. A partir de ese escenario se han generado diferentes preocupaciones ambientales, debido a que las actividades industriales y el crecimiento poblacional han aumentado drásticamente, generando así efecto en el clima actual y en el futuro, los cuales amenazan la estabilidad de la humanidad y su entorno. (ONU, 2014).

El fenómeno de cambio climático es causado principalmente por un proceso llamado efecto invernadero, el cual es alimentado principalmente por gases de efecto invernadero (GEI) como lo son el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) entre otros, los cuales son generados por diferentes actividades antropogénicas.

Para lograr una mayor reducción de estos gases se han buscado diferentes mecanismos que sean amigables con el ambiente y que represente de gran forma el control del calentamiento global, desde este punto se ha venido utilizando con el pasar del tiempo la captura y almacenamiento de carbono que tienen las plantas a través de la fotosíntesis y el suelo con la degradación de la hojarasca. En los últimos años se ha obligado de forma pasiva a que los diferentes sectores de la sociedad como el de la agricultura, establezcan el desarrollo de actividades de producción ecológicamente sostenible en el cual secuestren carbono y aporten a baja escala la mitigación de cambio climático.

En este concepto la palma aceitera brinda un gran potencial o servicio ambiental, por lo tanto, cuantificar el carbono en este sistema permitirá conocer el aporte del mismo al ambiente.

1.1. Planteamiento del problema.

Con el pasar del tiempo el deterioro de la capa de ozono ha provocado un desequilibrio constante en el clima mundial; datos científicos señalan que la principal causa de este problema es la acelerada actividad antropogénica y el ritmo de vida que lleva la humanidad. En los últimos 150 años la concentración de dióxido de carbono (CO₂) ha aumentado un 30 por ciento y se estima que la mayoría proviene del uso de combustible fósiles (carbón, petróleo y gas natural), mientras que el 20-25 por ciento del aumento proviene del cambio del uso de la tierra. Wood Hole Research, citado por Vargas (2013).

Por esta razón el cambio climático se ha convertido en el siglo XXI en la mayor amenaza y problemática que afronta la sociedad a nivel económico, social y ambiental. El dinamismo de clima con el pasar del tiempo ha cambiado o se ha modificado y los daños debido a este cambio serán exponenciales.

El considerable aumento del dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero como el metano en la atmósfera, se atribuye a que cada año la reducción de la masa o cobertura vegetal van disminuyendo provocando así que se reduzcan considerablemente los depósitos de carbono, generando así el libre paso de estos gases a la atmósfera. Arraigado a esto, el crecimiento poblacional acelerado en los últimos años ha conllevado a que se utilice o se quemé más combustible fósil

en movilización, producción y generación de materia prima para la sociedad, situación que no solo provoca el calentamiento global, también traen consigo la degradación de los suelos, las pérdidas de fuentes hídricas y el deterioro de la biodiversidad, los cuales son factores importante para la producción agrícola dentro de las cuencas hidrográficas. En la actualidad del 2017 la preocupación aumenta debido a que eventos como el fenómeno del niño se agudizan con el pasar del tiempo; Por esto muchas empresas buscan mecanismos para mitigar estos efectos. En Panamá la mayoría de los estudios relacionados a la fijación de carbono solo abarcan el ámbito forestal. Los cultivos perennes como la palma aceitera no presentan un diagnóstico o estudios por parte de las autoridades competente en panamá, acerca de su participación directa en la mitigación del cambio climático. Por esta razón, la palma aceitera se convierte en un mitigador de las concentraciones de dióxido de carbono dentro de la cuenca hidrográfica, considerándose una alternativa sustentable para la producción a nivel del país

1.2. Antecedentes

Según el estudio del Pew Center hecho con la participación de 45.000 personas en 40 países, el 74 por ciento de los latinoamericanos considera el cambio climático como un problema muy serio, comparado con el 25 por ciento del promedio de las personas consultadas. Painter (2015).

En Costa Rica, La Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH), a través de Leblanc en el 2006 desarrolló un estudio de fijación de carbono en plantaciones de palma aceitera de siete años de edad, en el cual se presentaron

valores máximos de 126 toneladas por hectárea entre los componentes suelo y biomasa. En donde el suelo fue el componente que más carbono fijo. Además, asegura que las plantaciones de la palma aceitera en su séptimo año de edad tienen una tasa anual de fijación comparable con ocho especies forestales como lo son: *Vochysia guatemalensis*, *Hieronima alcherneide*, *Calophyllum brasiliense*, *Jacaranda copaia*, *Virola koschnyi*, *Strhydnodendrum excelsum*, *Zanthoxylum mayanun* y *Dipteryx panamensis*. (Leblanc 2006).

En Colombia organizaciones científicas de la palma aceitera como Fedespalma (2004) establecen los principios de la sostenibilidad de las plantaciones. En ese mismo año Castilla (2004), realizó la investigación acerca de la captura de carbono en todo el ciclo de producción de la palma aceitera (25 años), en el cual la palma aceitera reportó altas cantidades de carbono capturado con un intervalo de 80-143 toneladas por hectárea comparándolo con valores de sistema como los agroforestales y de barbecho.

1.3. Justificación

El cambio climático es un fenómeno mundial que afecta en gran parte los sectores de la sociedad principalmente el sector agrícola, debido a que el mismo interactúa directamente con el ambiente y lógicamente con el clima. El sector agrícola panameño no escapa de esta situación, debido a que el país en los últimos años ha sufrido los efectos del calentamiento global lo que trajo como consecuencia el déficit hídrico. Para mitigar este cambio los científicos a nivel mundial, local y organizaciones como la ONU (Organización de la Naciones Unidas), plantean que la

solución es producir de forma eficiente y sostenible, detectando la fuentes de gases de efecto invernadero para mitigarla y reducir su libre paso a la atmosfera. En este sentido se sabe que la producción de biomasa por parte de la planta a través de la fotosíntesis es una estrategia que ayuda a mitigar y capturar el dióxido de carbono que es uno de los principales gases generado por las actividades humanas.

Por otra parte el sector agrícola de Panamá en especial el de la palmicultura ha venido creciendo paulatinamente con el pasar de los años. Se reportan datos que en el país existen unas 22 mil hectáreas de palma sembradas en la provincia de Chiriquí, convirtiéndose así en el cultivo con más hectárea en esta provincia. Debido a esto, el sector busca un nuevo lineamiento en el que su producción se apegue a los principios de la sostenibilidad en el cual sea económicamente viable, socialmente factible y ambientalmente posible. Debido a que este cultivo ha tenido muchas críticas por parte de algunos sectores ambientales, se propone la captura de carbono como una medida de mitigación y de producción sostenible. Además, aunque se tenga mucha información sobre el manejo agronómico de este cultivo, no existe en Panamá estudios que determine la fijación de carbono en este cultivo.

Por otra parte las plantaciones de palma aceitera y sus extractoras tienen que seguir lineamientos ambientales en el cual se contribuya con el ambiente según la Roundtable on Sustainable Oil Palm (R.S.P.O) en el cual su principio cinco menciona la responsabilidad con el medio ambiente y la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad, específicamente en su criterio cinco punto seis mencionan los planes para reducir la contaminación y las emisiones incluyendo los gases de efecto invernadero; esto con el fin de que las empresas que se dedican a la

producción y extracción de aceite de palma como COOPEGOTH R.L puedan certificar su aceite y que su producción sea sostenible.

Por consecuente la presente investigación se realizará para contribuir a buscar soluciones de producción sostenible en el sector palmero, en el cual se dé un conocimiento científico acerca de la cantidad de carbono almacenado en cada uno de su compartimiento en toneladas de carbono por hectárea. Esta investigación es un estudio pionero en el cual se busca ampliar el campo de conocimiento en captura de carbono y así ayudar a los productores en la certificación sustentable de su aceite y que su producción sea sostenible y eficaz.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- ❖ Estimar el carbono presente en tres compartimientos de una plantación de palma aceitera (*Eleais guinenses*) en la cooperativa COOPEGOTH R.L.

1.4.2. Objetivos específicos

- ❖ Establecer parcelas temporales de medición.
- ❖ Cuantificar el aporte de carbono proveniente del suelo
- ❖ Estimar el carbono contenido en la biomasa aérea de la especie.
- ❖ Aplicar el modelo alométrico que mejor se ajuste.
- ❖ Estimar variables dasométrica como diámetro y altura.
- ❖ Diferenciar estadísticamente los resultados.

1.5. Hipótesis

(Ha): Existe diferencia significativa en el carbono capturado por el suelo versus la biomasa aérea y estipe en el cultivo de la palma aceitera.

(Ho): No existe diferencia significativa en el carbono capturado por el suelo versus la biomasa aérea y estipe en el cultivo de la palma aceitera.

1.6. Alcances y Limitaciones

Las plantaciones de palma aceitera son de suma importancia como tecnología alternativa en busca de la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero, por esto se estimó cuantitativamente el carbono capturado en tres compartimientos del sistema (hoja, tallo y suelo), por ende, nos aportó nuevos conocimientos sobre si el sistema de plantación contribuye a secuestrar carbono atmosférico.

El alcance de esta investigación beneficia a investigadores, empresas y productores de palma aceitera como un aporte de conocimiento ambiental que establece nuevas expectativas acerca del cultivo en su contribución con el ambiente, por otra parte la investigación solo abarca la estimación de carbono en el Suelo, Estipe y Hojas. En cuanto a la limitación encontrada en el estudio fue el distanciamiento de las parcelas, además del ajuste de las ecuaciones alométricas. La falta de actualización y documentación en datos de carbono capturado por palmera en Panamá por parte de las autoridades competentes

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cambio climático

Según el Ministerio de Pesca, Agricultura y Medio Ambiente (MAPAMA) S.F, el estudio del clima es un campo de investigación complejo y en rápida evolución, debido a la gran cantidad de factores que intervienen. El clima de la Tierra nunca ha sido estático. Como consecuencia de alteraciones en el balance energético, está sometido a variaciones en todas las escalas temporales, desde decenios a miles y millones de años. Entre las variaciones climáticas más destacables que se han producido a lo largo de la historia de la Tierra, figura el ciclo de unos 100.000 años, de períodos glaciares, seguido de períodos interglaciares.

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. Es debido a causas naturales y también a la acción del hombre y se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. El término "efecto de invernadero" se refiere a la retención del calor del Sol en la atmósfera de la Tierra por parte de una capa de gases en la atmósfera. Sin ellos la vida tal como la conocemos no sería posible, ya que el planeta sería demasiado frío. Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, que son liberados por la industria, la agricultura y la combustión de combustibles fósiles. El mundo industrializado ha conseguido que la concentración de estos gases haya aumentado un 30% desde el siglo pasado, cuando, sin la actuación humana, la naturaleza se encargaba de equilibrar las emisiones.

2.2. Cambio climático en Panamá

El cambio climático es una de las principales amenazas que afronta la humanidad en la actualidad, resultado de impactos derivados de la modificación del sistema climático. Esta situación tendrá un impacto directo en la seguridad de la ciudadanía panameña a través de eventos de origen hidroclimático como lo son tormentas más severas, la presencia de frentes fríos y períodos de temporada seca más extensos y calientes; lo que se traduce, a su vez, en la posible pérdida en infraestructuras, producción de materia prima y salud, que luego se convierten en pérdidas económicas a los particulares y en una mayor inversión por parte del Gobierno para atender estos eventos. (Ministerio de Ambiente, 2016)

2.2.1. Líneas del gobierno panameño sobre el cambio climático

- **Reforzar el papel de Panamá como actor proactivo ante la comunidad internacional en materia de cambio climático.**

La República de Panamá ha venido jugando un rol protagónico en el proceso internacional de negociaciones ante el futuro régimen climático con especial énfasis en el tema de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD), y una participación proactiva en iniciativas regionales como la Estrategia Regional de Cambio Climático en el marco de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). Del mismo modo, estamos iniciando la ejecución de nuevas estrategias y acciones encaminadas a resolver temas de prioridad nacional como son las emisiones internacionales en el sector marítimo, que está tomando fuerte interés en el ámbito mundial. Se reconoce, en este sentido, la necesidad de ir formando profesionales en materia de negociación internacional para poder garantizar la

participación en este amplio y complejo proceso de futuros compromisos ante el cambio climático

- **Fortalecer la legislación pública ambiental y contar con una Política Nacional de Cambio Climático.**

La República de Panamá ha venido realizando una serie de adecuaciones a la legislación ambiental para hacer frente a los nuevos retos ambientales y, en ese sentido, ha desarrollado la Política de Cambio Climático que, en conjunto con la Política de Biodiversidad y la Política de Gestión de Recursos Hídricos, busca fortalecer al país en materia de adaptación y mitigación del cambio climático. De igual forma, el Gobierno de Panamá inició una valoración de las implicaciones que trae inmerso el cambio climático y las medidas de respuesta en la seguridad financiera del país, con especial énfasis en las medidas de mitigación de sus efectos.

- **Reducir la vulnerabilidad de las y los panameños al cambio climático.**

Panamá ha iniciado, en la medida de sus posibilidades, la implementación de proyectos enfocados a conocer la vulnerabilidad de sectores claves del país como lo es el sector recursos hídricos, la agricultura y la salud; al tiempo en que considera a las cuencas como unidad de exposición y al ordenamiento territorial como una clave estrategia de adaptación al cambio climático. Por otro lado, existen diversas iniciativas enfocadas a la promoción de las energías renovables y la eficiencia energética, con el objetivo de que la población tenga un conocimiento de cómo contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. (Ministerio de ambiente, 2016)

2.3. Ciclo de Carbono

El ciclo del Carbono comienza con la fijación del anhídrido carbónico (CO_2) atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis realizados por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el CO_2 y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta y el CO_2 así formado, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales que también respiran y liberan CO_2 . Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo lo que da como resultados que el Carbono de sus tejidos se oxide en CO_2 y regrese a la atmósfera. El carbono se puede interpretar como carbono almacenado y fijado. (Ortiz, 2006)

- **Carbono almacenado (Ca):** Hace referencia a la cantidad de Carbono que se encuentra en un ecosistema vegetal, en un determinado momento. Tiene en cuenta criterios como tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que se basan en datos de biomasa calculada a partir de volúmenes por hectárea de inventarios forestales
- **Carbono fijado (Cf):** Se refiere al flujo de Carbono dentro de una unidad de área cubierta con vegetación en un lapso de tiempo dado. Su cuantificación permite predecir el comportamiento del C en cualquier momento durante el crecimiento de la población

2.4. Protocolo de Kioto y Mecanismo de desarrollo limpio (MDL)

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases provocadores del calentamiento global. Este instrumento se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, y es uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes destinado a luchar contra el cambio climático. Contiene los compromisos asumidos por los países industrializados de reducir sus emisiones de algunos gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global. El Protocolo de Kioto se firma en el año 1997, para poder implementar todo lo establecido en la CMNUCC, estableciendo compromisos para los países desarrollados. Entra en vigor en el año 2005 y finaliza en el 2012. Entre el período 2013 y 2020, antes de que entre en vigor el Acuerdo de París se aprueba el segundo período de Kioto conocido como la Enmienda de Doha.

Como parte del Protocolo de Kioto se generaron mecanismos importantes de mitigación que fueron vinculados con instrumentos financieros y tecnologías de punta para que apoyaran a los gobiernos a cumplir con sus compromisos de reducciones, lo que desató el conocido Mercado de Carbono, regulado claramente por la CMNUCC. (MIAMBIENTE, 2016). Los mecanismos que nacen del Protocolo de Kioto y actúan dentro del Mercado de Carbono regulado son:

- ❖ Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)
- ❖ Implementación Conjunta (JI, por sus siglas en inglés)
- ❖ Comercio de Derecho de Emisiones (ETS, por sus siglas en inglés)

El Mercado de Carbono regulado es utilizado por empresas y gobiernos que por ley, deben rendir cuentas de sus emisiones de GEI.

Paralelo a este mercado regulado, nace el Mercado de Carbono Voluntario muy popular en el sector privado para resaltar la Responsabilidad Social Corporativa y las relaciones públicas. (MIAMBIENTE, 2016)

❖ **Mecanismo de desarrollo limpio (MDL)**

El Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), definido en el artículo 12 del Protocolo de Kioto, es el único instrumento de flexibilidad que permite a los **países en desarrollo** participar del esfuerzo global de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI). Por lo tanto, el MDL constituye para los países en desarrollo un instrumento que permite la obtención de financiamiento adicional proveniente de los países desarrollados para proyectos que reduzcan emisiones de GEI y contribuyan al desarrollo sostenible.

El Ministerio de Ambiente, en su calidad de Autoridad Nacional Designada ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y ante el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto, reglamenta los procesos para la aprobación nacional de proyectos que optan al MDL.(MIAMBIENTE,2016).

2.5. Plantaciones de palma aceitera

La palma africana (palma aceitera africana), es una planta tropical propia de climas cálidos cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano, concretamente en el golfo de Guinea, de ahí su nombre científico *Elaeis guineensis* Jacq., donde ya se obtenía desde hace cinco milenios. A pesar de ello, fue a partir del siglo XV cuando su cultivo se extendió a otras regiones de África como América, Asia y otras latitudes. (Duran, 1999)

La palma de aceite es un cultivo perenne de tardío y largo rendimiento, ya que su vida productiva puede durar más de 50 años, aunque a partir de los 25-30 años se dificulta su cosecha por la altura del tallo, llega a alcanzar los 20 metros.

La demanda por aceite de palma se ha incrementado recientemente debido a su uso como biocombustible, pero tal incremento produce tanto impactos ambientales por el cultivo como causar una disputa de alimento y combustible forzando a algunos países desarrollados a reconsiderar sus políticas sobre biocombustible para perfeccionar los estándares y asegurar sustentabilidad. (Vásquez, 2014)

2.5.1. Palma aceitera en Panamá

La palma aceitera es un producto que les puede brindar un potencial a los países del trópico, en especial a los del trópico húmedo; Panamá es uno de ellos.

Este es un cultivo muy atractivo porque es perenne. Se mantiene por años. No es cultivo para seis meses. Es un producto que rinde a los 20 o 25 años.

Actualmente, 25 mil hectáreas se encuentran plantadas con palma aceitera a nivel nacional, de las cuales unas siete mil se encuentran en el área de Barú, lugar que concentra la mayor plantación. (Giménez, 2015).

La producción de palma aceitera se ha convertido en el principal rubro sembrado en Chiriquí, desplazando productos como el arroz, hortalizas y otros cuyo cultivo va en descenso por problemas como los altos costos, el cambio climático y las importaciones desmedidas. En esta provincia, según cifras del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), actualmente hay sembradas unas 22,815 hectáreas de palma aceitera frente a unas 14,000 hectáreas de arroz. (Vásquez, 2014).

2.6. Característica botánica de la especie

2.6.1. *Elaeis guinnensis*

Taxonomía según, Castilla. (2004)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Arecales

Familia: Arecaceae

Subfamilia: Coryphoideae

Género: *Elaeis*

Especie: *Elaeis guinnensis*

Nombre común: Palma aceitera africana.

Como todas las especies de su género *Elaeis* posee un tronco (estipe) alto y único.

Las inflorescencias se producen en las axilas de las hojas, éstas son grandes y de

tipo pinnado compuesto, con folíolos que parten desde el raquis sobre dos planos regulares. Los folíolos son lanceolados. (Castilla, 2004)

2.7. Métodos utilizados para determinar el carbono capturado en la biomasa.

Para medir la biomasa de una planta, lo más sencillo es pesar toda la palma y expresarla en base seca, pero por su tamaño hay dificultades de hacer este tipo de medición y por ende expresar las toneladas por hectárea de carbono fijado, Castilla (2004). Por ello se procede a establecer métodos sencillos como:

❖ **Auto-analizadores carbono/nitrógeno**

Este método según Leblanc, (2006), es uno de los más preciso y fácil para la determinación del contenido de carbono presente en la biomasa. Debido a que solo se tiene que escoger la muestra y multiplicarla por diversos factores. Entre los auto-analizadores tenemos Perkin Elmer, Serie II, 2400.

❖ **Métodos de flujos:** En el método de flujos el interés está en los procesos de crecimiento, mortalidad y cosecha de la biomasa, cambios en el uso del suelo y en los flujos de carbono en el suelo. Los cambios periódicos en la cantidad de carbono fijado en el ecosistema se calculan a través de estimaciones de flujos de carbono en los procesos de producción de biomasa (crecimiento) y salida de la biomasa (mortalidad, cosecha), así como en los cambios asociados al suelo. (Seppanen, citado por Rodríguez, 2011).

❖ **Métodos alométricos:** en caso de no contar con información de inventarios forestales se pueden utilizar una serie de ecuaciones alométricas que han sido desarrolladas con el objetivo de poder estimar la biomasa contenida en la vegetación

Utilizando datos fáciles de obtener en el campo tales como la altura de los árboles (H) y el diámetro de los árboles a la altura del pecho (Dap). (Picard, 2012)

- ❖ Los modelos alométricos para estimar biomasa se desarrollan para bosques tropicales, bosques templados, algunos tipos de vegetación semiáridas y cultivos perennes en zonas planas y en pendientes, sin dejar de excluir el desarrollo de modelos para estimar biomasa en pasturas. (Brown, 1997).

Para estimar el carbono fijado en sistemas forestales se pueden emplear dos métodos:

- 1 Los métodos destructivos:** Incluyen mediciones en campo, cosecha y toma de muestras de la totalidad de la vegetación, teniendo en cuenta algunos criterios de evaluación. Aunque este método es más costoso y requiere de mayor tiempo, arroja resultados de alta confiabilidad, en comparación con el método indirecto.
- 2 Los métodos indirectos:** Para estimar el carbono, se implementan el uso de modelos de biomasa específicos para cada especie, donde los valores de inventarios forestales como diámetro (Dap) y altura, se transforman a términos de biomasa con la ayuda de modelos generales.

2.8. Carbono orgánico en suelo

El suelo es un gran sumidero de carbono; sin embargo, los proyectos de carbono no le prestan la atención requerida, ya que, las negociaciones de carbono actuales no

incluyen este componente, debido a que no es tan visible como la biomasa por encima del suelo.(Lino, 2009).

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del Carbono, ocupando un 69,8 % del Carbono orgánico de la biosfera. Los suelos contienen más Carbono que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera. El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica. La cantidad total de C orgánico almacenada en los suelos ha sido estimada por diversos métodos y su valor es cercano a 1.500 Pg (Picogramos) a un metros de profundidad Estimaciones de Carbono inorgánico dan valores de alrededor de 1.700 Pg (Picogramos) de Carbono, principalmente en formas estables como CaCO_3 y $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$, CO_2 , HCO_3 y CO_3 . (FAO y Swift, citado por Martínez 2008).

El carbono orgánico depende de dos parámetros importante como es la concentración de carbono orgánico, a través de la materia orgánica y el otro parámetro es la densidad aparente.

➤ **Concentración de carbono orgánico**

Según las metodologías empleadas esta concentración se establece a través del método de Walkley y Black (1938) en el cual se determina la materia orgánica y luego esta se multiplica por el factor 0.58. Aunque este método tiene algunas limitaciones, es altamente recomendado cuando no se requiere conocer el contenido total de carbono. (Vargas, 2013).

➤ **Densidad aparente (D.A)**

La densidad aparente del suelo (peso seco del suelo/volumen) depende de varios factores, que incluyen lo siguiente: La densidad de las partículas del suelo mineral, la cantidad de materia orgánica, la compactación del suelo, las actividades de animales que excavan en la tierra, tales como lombrices y la abundancia de raíces de la planta. Entre los métodos más comunes se encuentra el método del cilindro y del terrón de suelo parafinado. (Forsythe, 1974).

➤ **Materia orgánica (M.O)**

La materia orgánica de los suelos es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte. En general, la materia orgánica se clasifica en compuestos húmicos y no húmicos. En los segundos persiste todavía la composición química e incluso la estructura física de los tejidos animales o vegetales originales. Los organismos del suelo descomponen este tipo de sustancias orgánicas dejando solamente residuos difícilmente atacables, como algunos aceites, grasas, ceras y ligninas procedentes de las plantas superiores de origen. El resto son transformados por parte de los microorganismos, reteniendo una parte como componentes propios (polisacáridos , por ejemplo). El producto de tal transformación es una mezcla compleja de sustancias coloidales y amorfas de color negro o marrón oscuro denominado genéricamente *humus*. El humus constituye aproximadamente entre el 65 y el 75 % de la materia orgánica de los suelos minerales. (Meléndez, 2003)

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Localización del área de estudio

La investigación se realizó en los lotes 32-33 de las parcelas de plantación de palma aceitera de la cooperativa COOPEGOTH. R.L, ubicada en la comunidad de San Valentín, corregimiento de Baco, Distrito de Barú, Provincia de Chiriquí. Las coordenadas geográficas del área de estudio se localizan entre los 924771 de Latitud Norte y los 303094 de Longitud Este, como se aprecia en la figura 1, a una elevación de ocho metros sobre el nivel del mar. Google Earth, (2017)

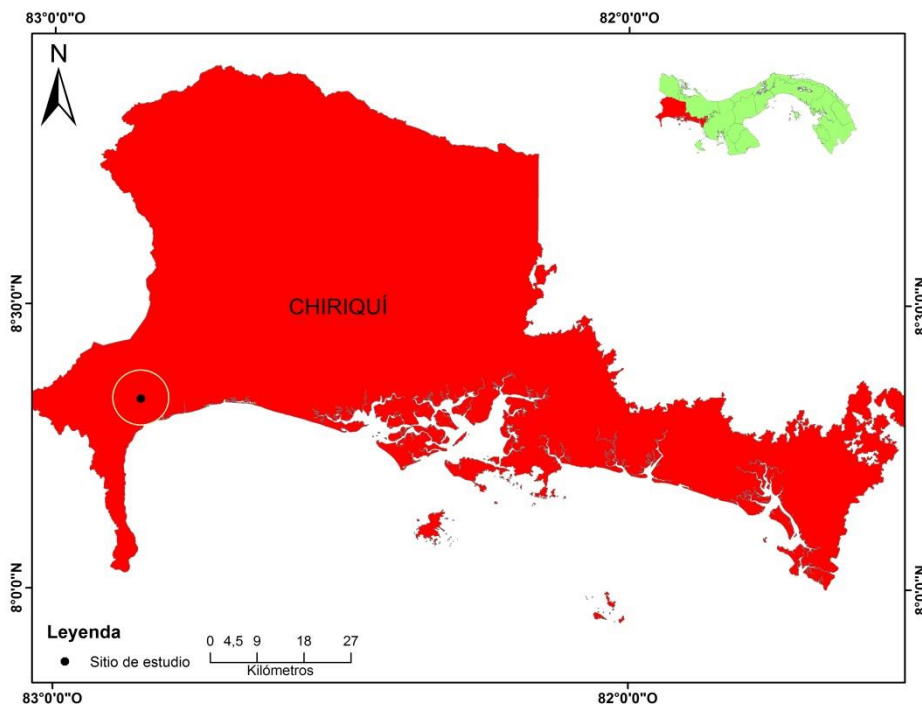


FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS DE INVESTIGACIÓN, COOPEGOTH, 2017.

3.1.2. Datos climáticos

Según la clasificación climática de Mckay (2000), el clima en el área de estudio es un clima subecuatorial con estación seca. La precipitación media anual oscila entre 2101 – 2400 milímetro anuales, mientras que la escorrentía media anual esta de 1200- 1600 milímetros, su temperatura media anual está entre los 26.6 °C- 27°C, y la evapotranspiración media anual es de 1301-1325 milímetro. Atlas Ambiental de Panamá (2010)

3.1.3. Geología

El área de estudio consiste en formación sedimentaria como aluviones, sedimentos consolidados, arenisca, corales, manglares, conglomerados, lutitas carbonosa. Este tipo de formaciones datan del periodo Cuaternario hasta el secundario. Dentro de su geomorfología el área de estudio presenta una forma de planicie aluvio-columviales. Atlas Ambiental de Panamá (2010).

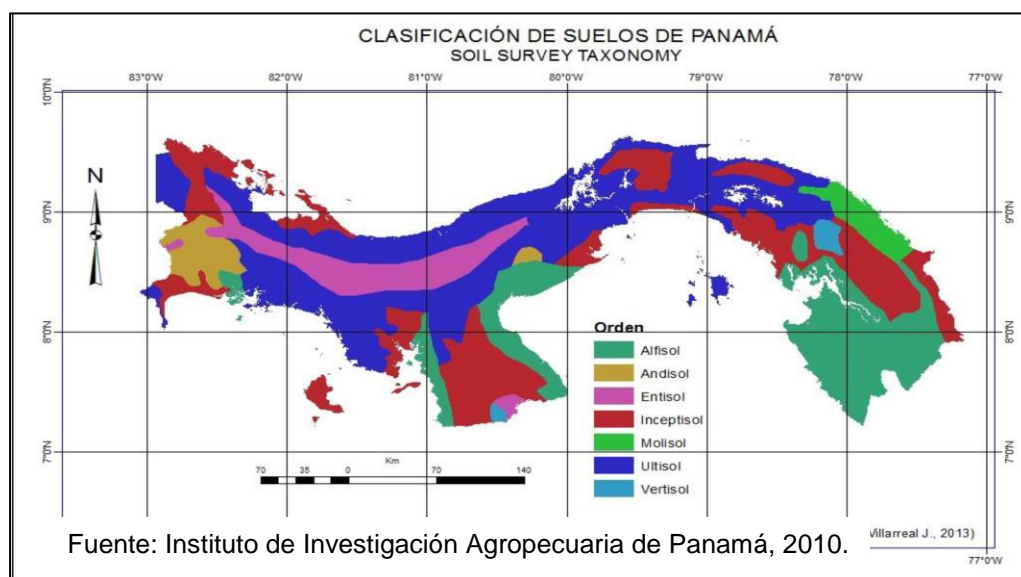


FIGURA 2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS EN PANAMÁ SEGUN IDIAP.2010

Según el IDIAP (Instituto de Investigación Panamá).2010, los suelos del área de Barú están clasificados taxonómicamente como suelos Inceptisoles, como se indica en la Figura 2, estos suelos presentan característica indefinidas, además presentan mezcla de suelos de material volcánico, sedimento consolidado, calcáreos y en algunas partes de arena y piedra

3.1.4. Zona de vida

La zona de vida que predomina en el área de Barú en donde se ubican los lotes de palma aceitera de la empresa COOPEGOTH.R. L, es de Bosque Húmedo Tropical, según la clasificación de zonas de vida de Tossi (1971).

➤ Vegetación

Dentro de las especies frutales encontradas en el área de estudio se tienen: Mango (*Mangifera indica*), Nance (*Byrsonima crassifolia*), Aguacate (*Persea americana*). Las especies maderable más distinguidas se apreciaron: Macano (*Diphysa americana*), Roble (*Tabebuia rosea*), Teca (*Tectona grandis*) entre otras, estas especies observadas son característica propia de la zona de vida.

3.2. Metodología

Son pocos los estudios en Panamá encaminado a reducir los GEI (Gases de efecto invernadero). Gran parte de los estudios acerca de este tema solo abarca las plantaciones forestales o bosque naturales. Con miras a contribuir en este entorno investigativo se plantean nuevas alternativas como la fijación de carbono en palma aceitera (*Elaeis guineensis*). A continuación se plantea la siguiente metodología la

misma se ajustó y presentó mejor factibilidad y viabilidad económica para desarrollar los objetivos de la presente investigación

3.2.1. Característica del área de muestreo.

Los lotes escogidos para el estudio de la especie *Elaeis guineensis* tienen 10 años de establecido, constan de un área total máxima de 88.79 hectáreas, para efecto de la investigación solo se tomarán 15 hectáreas del total. Esta plantación fue establecida en el año 2007, de forma tal que nos proporciona individuos de 10 años de edad, se escogió una edad de 10 años, debido a que a menor edad el estipe de la palma aceitera no ha desarrollado una altura adecuada. Su espaciamiento es de 81 metros cuadrados, para una densidad de 143 palmas por hectárea sembrada a tres bolillos. Dentro del mismo se escogieron 30 individuos en un área de 2500 metros cuadrado.

⊕ Tamaño de la parcela

Inicialmente se realizó una fase de reconocimiento en la plantación de palma aceitera, con la finalidad de determinar características físicas del sitio como lo son pendiente, pedregosidad entre otras. Luego de finalizado el recorrido se procedió a dimensionar el área de la parcela, según Hairiat, citado por (Rugnitz et al 2008) se recomienda parcelas rectangulares que presente características homogéneas. Para efecto de la investigación se establecieron cuatro parcelas de 2500 metros cuadrados; como se muestra en la figura tres.

Para su establecimiento se marcó cada punto con la herramienta GPS, a través del datum WGS84, seguidamente en cada punto marcado se procedió a colocar un tubo PVC de media pulgada de diámetro y 48 pulgadas de altura.

3.2.2. Estimación de la biomasa en la palma aceitera

Para el muestreo de la biomasa de la palma aceitera se tomaron 30 individuos por cada parcela de muestreo, con un área de 2500 metros cuadrados como indica la figura tres. Para la aplicación de la fórmula alométrica se tomó en cuenta palmeras con un rangos de diámetro de 0.5-33 centímetros, variable necesaria para el desarrollo y ajuste de la formula alométrica. Las palmeras seleccionadas se les midieron el diámetro y la altura total.

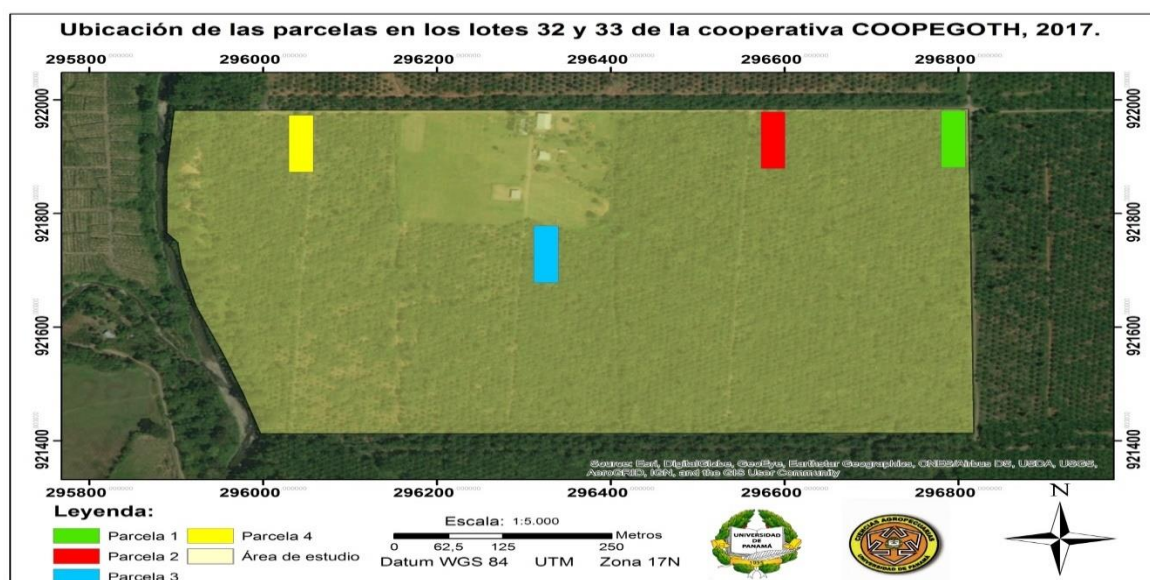


FIGURA 3. PARCELAS ESTABLECIDAS DENTRO DE LOS LOTES 32-33.COOPEGOTH, 2017.

- **Medición de diámetro**

Dentro de esta variable lo más usual es realizar la medición del DAP (diámetro a la altura del pecho), sin embargo, por característica del cultivo se tomaron diámetros en la parte inferior (0.50 Metros), media (1.80 Metros) y superior (2.50 Metros) para establecer un promedio Tal como se observa en la Figura cuatro; según (Hassan *et al*, citado por Castilla, 2004) nos indica que el tronco de esta especie no es un cilindro perfecto, es decir que el diámetro de la base inferior es diferente al superior, por ello se tomó el diámetro de esta manera y no de la usual.

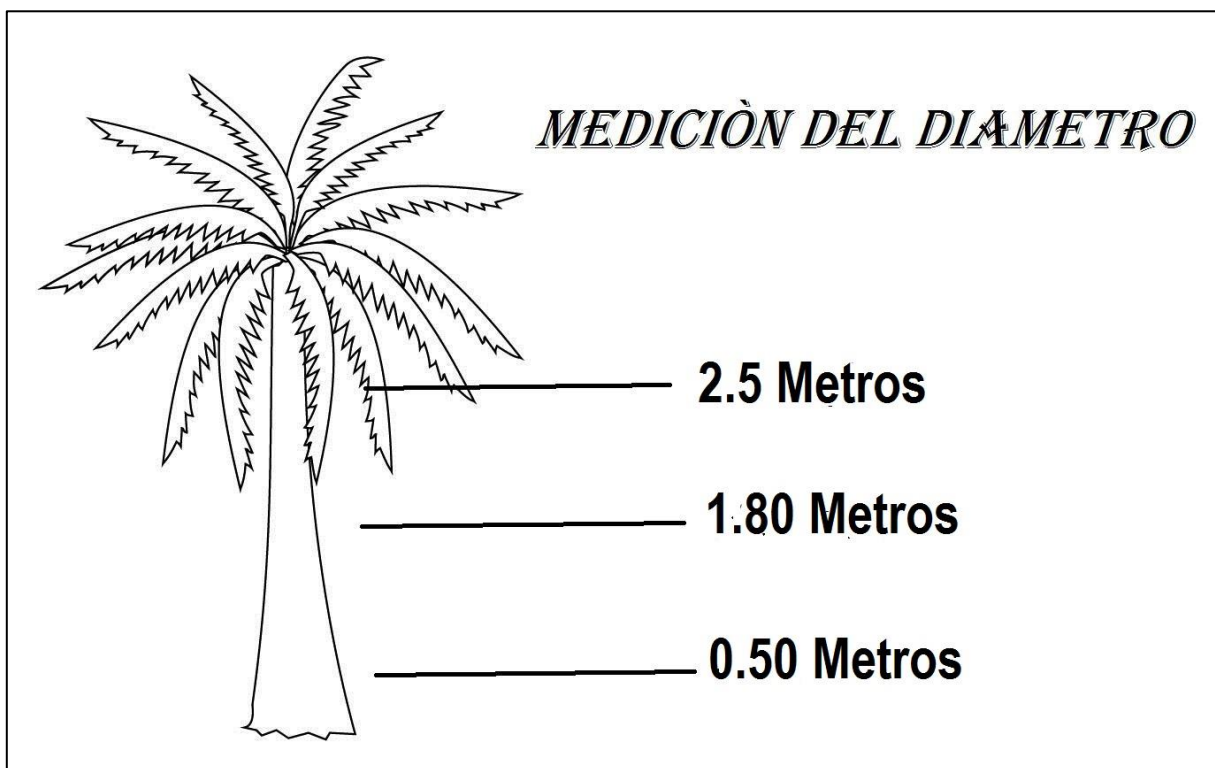


Figura 4. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA PALMERA. 2017

- **Altura total**

Para estimar esta variable dasométrica, se utilizó el nivel Abney, que nos proporcionó un ángulo de elevación. Para obtener este ángulo, se realizó la lectura a nueve metros de distancia desde nuestro punto de medición a la palma aceitera, de igual manera se obtuvo un ángulo de elevación y la distancia horizontal, luego de la obtención de estos datos se procedió a utilizar la función trigonométrica tangente como método más factible, por consiguiente se procedió a multiplicar la tangente del ángulo por la distancia para obtener la altura total del estipe. La **figura 5**, ilustra lo indicado.

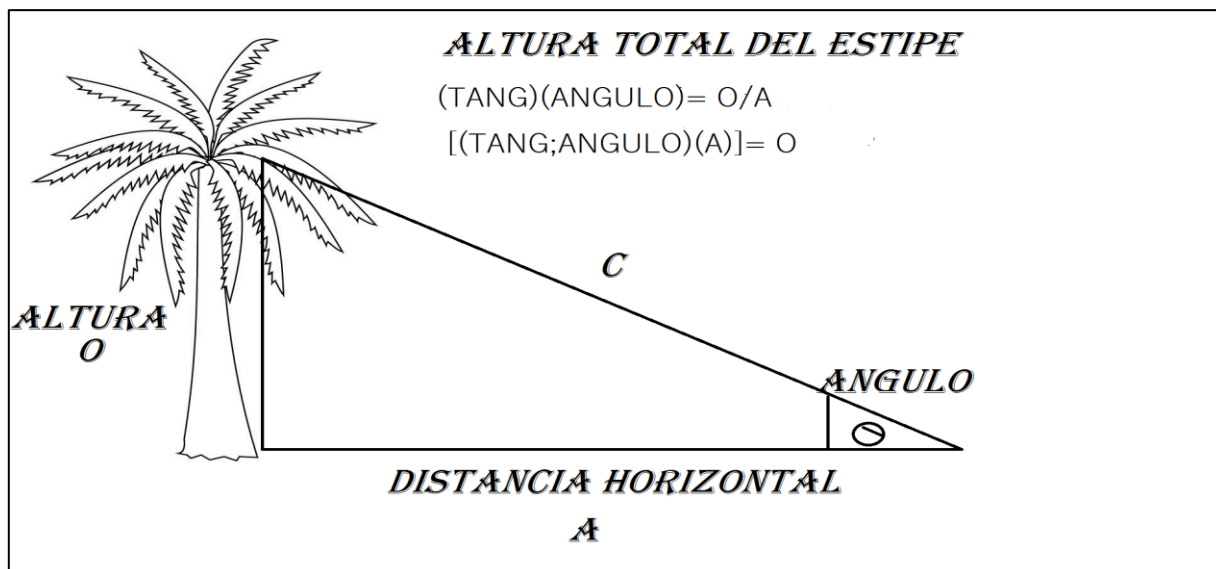


FIGURA 5. ESTIMACIÓN DE VARIABLE ALTURA.2017

- **Ecuaciones alométricas para la predicción de biomasa**

Para estimar la biomasa en la especie *Elaeis guineensis* se utilizaron las ecuaciones alométricas planteadas en la guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades de Rugnitz *et al* (2008). Estas ecuaciones se caracterizan por la introducción de variables como altura total, en la cual no incluye las hojas por ende, la biomasa (kg) obtenida de las fórmulas alométricas solo corresponde al tronco. A continuación, se presenta las fórmulas alométricas existentes:

Ecuaciones alométricas

	Fórmulas alométricas	Diámetro (cm)	R ²
1	$Y = 0.182 + 0.498 * HT + 0.049 * (HT)^2$	0.5-10.0	0.94
2	$Y = 10.856 + 176.76 * (HT) - 6.898 * (HT)^2$	0.5-15.7	0.94
3	$Y = 24.559 + 4.921 * HT + 1.017 * HT^2$	0.2- 14.5	0.82
4	$Y = 23.487 + 41.851 * (\ln(HT))^2$	1-11	0.62
5	$Y = 6.666 + 12.826 * (HT^{0.5}) * \ln (HT)$	1-33	0.75

Dónde:

Y= kg de materia seca/ Palmera

HT: altura total de palmera, en metros. Rugnitz (2008)

Como existen diferentes fórmulas para obtener el peso en kilogramos de la palma aceitera se procedió a utilizar la siguiente ecuación $Y = 6.666 + 12.826 * (HT^{0.5}) * \ln (HT)$, debido a que esta ecuación presenta para su utilización un rango de diámetro entre 1-33 centímetro, el cual es aceptable, ya que la especie para nuestro caso

presenta característica de grosor altas en su diámetro; por otra parte el r^2 de la ecuación a utilizar es de 0.75, el cual se considera pertinente para el estudio.

Para la obtención de la biomasa en las hojas se estimó como indica Brown, citado por Castilla, (2004) el cual afirma que si no se reporta la copa (hojas) se estima como equivalente al 65% del tallo para obtener la biomasa de las hojas. Luego de estimar la biomasa para el tronco y para las hojas, se procedió a realizar una sumatoria para obtener la biomasa de la palmera. Los kilogramos de biomasa producido por la palmera se transforman en toneladas por hectáreas (Ton ha^{-1}), este resultado se multiplicó por el factor 0.5 (indica que una tonelada de biomasa, equivale a +/- 0.5 tonelada de carbono), Gamarra (2001) y así se determinó la tonelada de carbono fijado por hectárea.

3.2.3. Estimación del carbono orgánico en el suelo.

El almacenamiento de carbono orgánico en los suelos depende de dos variables las cuales definen gran parte del carbono en el suelo: primero la concentración de carbono orgánico, determinado por la materia orgánica y segundo la densidad aparente. (Andrade e Ibrahim, citado por Vargas, 2013)

❖ Determinación de la materia orgánica

Para la obtención de la variable materia orgánica se procedió a realizar la toma de muestras, escogiendo diez puntos al azar, con ayuda de un barreno de muestreo holandés a una profundidad de 20 centímetros, obteniendo un total de diez sub-muestras por parcela como se indica en la figura 6. Las sub-muestra obtenida se homogenizaron en un recipiente obteniendo una muestra compuesta por parcela,

totalizando cuatro muestras totales, con un peso de 200 gramos cada una; luego se almacenaron en bolsa plástica para su posterior procesamiento en el laboratorio y así obtener el porcentaje de materia orgánica de cada una. Este análisis se realizó con el método de Wakley y Black (1938)

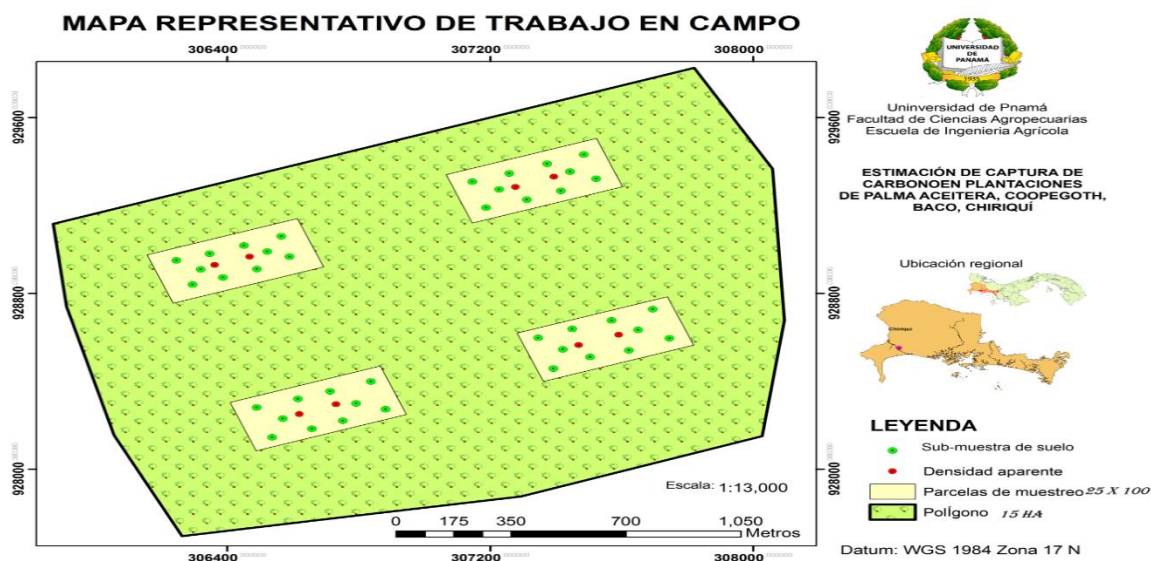


FIGURA 6. PARCELAS DE MUESTREO PARA DENSIDAD APARENTE Y MATERIA ORGÁNICA, COOPEGOTH.R.L.2017

❖ Determinación de la densidad aparente

En el cálculo de carbono orgánico en el suelo se necesita conocer la densidad aparente, procediendo de la siguiente forma: se tomaron en cada parcela dos muestras en diferentes puntos escogidos al azar, a una profundidad de 20 centímetros, utilizando el método del cilindro de volumen conocido, para un total de ocho muestras como se establece en la figura 6. Luego las muestras obtenidas en campo se trasladaron al laboratorio de suelo de la Facultad de Ciencias Agropecuaria (Chiriquí), en donde se procedió a tomar el peso del conjunto del

cilindro + suelo, anterior a esto se colocaron las muestras en el horno (105 grados Celsius, por 72 horas)

3.3. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el diseño completamente al azar (DCA). Este diseño se aplica a unidades experimentales en donde las características propias sean homogéneas. Dado que las características de las unidades experimentales fueron homogéneas; se establecieron cuatro parcelas al azar como se indica en la figura 7, de 2500 metros cuadrados, en un área total de 15 hectáreas con tres tratamientos que consistieron en

T₁: Carbono en suelo

T₂: Carbono en estipe (tronco)

T₃: Carbono en biomasa (Biomasa)

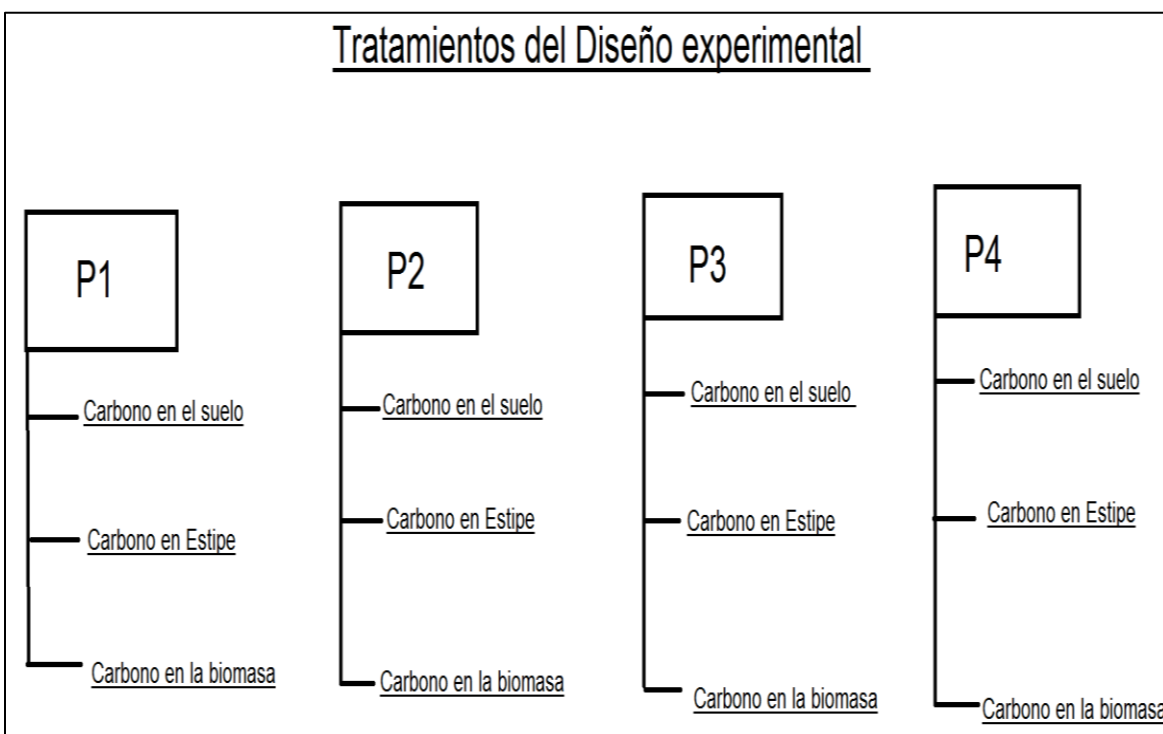


FIGURA 7. REPRESENTACIÓN DE LOS TRATAMIENTO PARA CADA UNO DE LOS COMPONENTES, COOPEGOTH. R.L, 2017.

Los datos obtenidos se analizaron con el programa estadístico Infostat, el modelo estadístico propuesto fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Observaciones del i ésimo tratamiento en la j ésima parcela.

μ = media de los tratamientos.

τ_i = efecto del i ésimo tratamiento.

ε_{ij} = término del error aleatorio asociado a la observación

3.4. Parámetros evaluados

Parámetros evaluados en la planta

Diámetro (cm) = corresponde al grosor desde la base hasta la parte superior del tronco de la palmera (González, 2000).

Altura total del tronco (m)= corresponde a la longitud vertical desde la base de la palmera hasta su primer juego de hojas. Se determina mediante la siguiente función trigonométrica (González,2000).

$$\text{tang } \theta = \frac{a}{b} \approx \text{tang}\theta * b = a$$

Dónde:

a = altura del objeto

b = distancia horizontal

θ = Angulo proyectado

Biomasa del tronco (Ton ha⁻¹) = corresponde a la biomasa del componente leñoso de la palma. Se obtiene mediante distintas ecuaciones alométricas. (Castilla, 2004)

Biomasa de las hojas (ton ha⁻¹) = cantidad de biomasa correspondiente al componente copa de la palmera. Se obtiene utilizando fórmula planteada por (Brown, 1997).

$$C = \text{tallo} * 0.65$$

Dónde:

C= biomasa de la copa. ton ha⁻¹

0.65= equivalente a 65% del tallo

- ✓ **Contenido de carbono total en la palmera**= se calcula a partir de la sumatoria del carbono del estipe más carbono de las hojas para obtener el carbono total de la palmera. Se determina mediante la siguiente ecuación. Castilla (2004)

$$C \text{ (Ton ha}^{-1}\text{)} = B * 0.5$$

Dónde:

B= carbono total de la palmera (ton ha⁻¹)

0.5= (factor que representa que una tonelada de biomasa equivale a +/- 0.5 T de carbono)

Parámetros evaluados en suelos

Densidad aparente (g/ cm³): Esta propiedad física de los suelos es el peso por unidad de suelo, y permite conocer el peso de cierto volumen de suelo para hacer la estimación del carbono orgánico por unidad de área. (Forsythe, 1974). Esta propiedad del suelo se expresa con la siguiente fórmula:

$$D. ap = Pss/ Vi$$

Dónde:

D. ap = Densidad aparente (g/cm³)

Pss = Peso del suelo seco (gramos)

Vi = Volumen interno del cilindro (cm³)

- **Materia orgánica:** se determina a través del método de Wakley- Black, el cual consiste en la oxidación de la materia orgánica en presencia de ácido sulfúrico, además del ácido fosfórico (H₃PO₄) y dicromato de potasio (Cr₂O₇). Según Jackson, citado por Vargas (2013), para calcular el porcentaje de materia orgánica presente en la muestra de suelo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% MO= 10 (1.T/S)* F$$

Dónde:

S= Valoración en blanco, ml de solución ferrosa

T= valoración de la muestra, ml de solución ferrosa

F= Factor (1.34 para 0.5 gramos de suelo, 3.55 para 0.2 gramos)

- **Concentración de carbono orgánico en suelos (%CO):** se determina este porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$\%CO = 0.58 \times \%MO$$

Dónde:

%CO= Concentración de carbono orgánico en suelo.

0.58= este se ha generalizado en consideración de que la materia orgánica del suelo contiene en promedio de 58% de carbono.

%MO= porcentaje de materia orgánica.

- **Carbono orgánico en el suelo:** este dato se obtiene del producto de la multiplicación de la densidad aparente y porcentaje de carbono orgánico además de la profundidad del suelo. Para esto se utilizará la siguiente ecuación:

$$COS = \%CO \times D. \text{ ap} \times Ps$$

Dónde:

COS: Carbono orgánico de suelos (ton ha⁻¹)

%CO: Concentración de carbono orgánico en suelos (%)

D. ap: Densidad aparente (g/cm³)

Ps: Profundidad del muestreo (cm)

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del Carbono orgánico de la biosfera (FAO, 2002). Existe la necesidad de establecer patrones que puedan crear una comparación significativa sobre la viabilidad de mitigación ambiental del cultivo de palma aceitera con otros sistemas. Muchos estudios realizados en otros países han demostrado la interacción productiva que tiene la palma aceitera con la mitigación del cambio climático; en este caso la captura de carbono en donde se busca que el cultivo tenga una producción sostenible. Dentro de este concepto la presente investigación afirmó sus bases en tres componentes de la palma aceitera Estipe, Hojas y suelo con el fin de buscar el aporte del carbono capturado que presenta el sistema en la contribución de la reducción de los gases de efecto invernadero.

4.1. Carbono capturado en palma aceitera

4.1.1. Carbono en el componente Estipe

Dentro de este componente el parámetro importante a destacar fue la altura total del tronco para la determinación del carbono; siendo así la parcela tres la cual obtuvo la mayor altura promedio con 5.54 metros, seguidamente de la parcela cuatro con una altura de 5.25 metros y la parcela uno con 5.10 metros, por último la parcela dos con 4.81 metros. La correlación entre la altura y carbono capturado arrojó los siguientes datos para la parcela uno, dos, tres y cuatro con valores de 3.85, 3.63, 4.17 y 3.93 toneladas de carbono por hectárea respectivamente; siendo el valor más alto de 4.17 toneladas de carbono por hectárea, correspondiendo a la parcela tres. Esto queda

evidenciado en la figura ocho, donde se puede observar las diferencias; la media obtenida fue de 3.93 toneladas de carbono por hectárea. La parcela tres al ser comparada con el resto de las parcelas adquirió una diferencia no relevante de 0.54 toneladas de carbono por hectárea en comparación a la parcela dos que obtuvo el valor más bajo, esto se debe a que la parcela tres presentó un alto promedio en la altura del estipe de las plantas muestreadas, lo que resultó en un valor superior en altura y por consecuente en su biomasa (estipe) en comparación a las demás parcela.

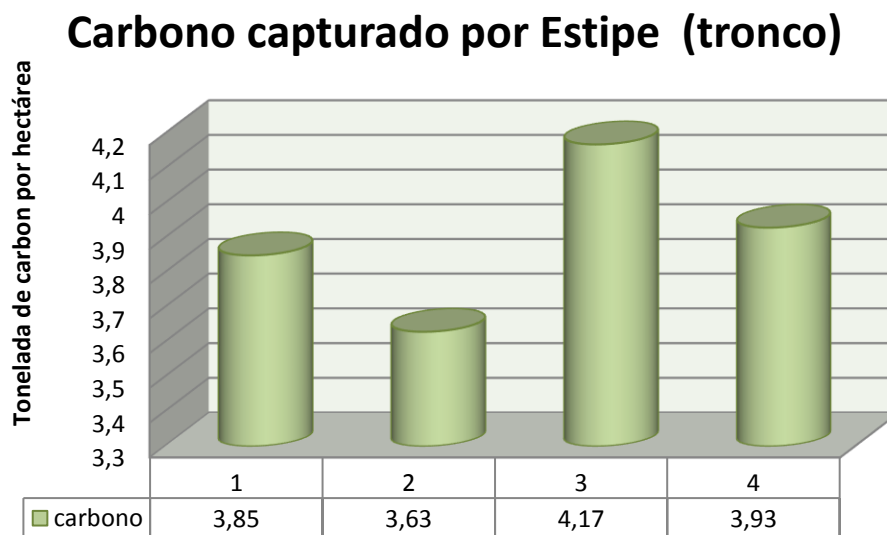


FIGURA 8. CARBONO CAPTURADO POR EL COMPONENTE ESTIPE, COOPEGOTH, 2017.

4.1.2. Carbono en el componente biomasa aérea (Hojas).

Este componente cumple un papel importante dentro de la estimación del carbono total capturado por la palmera, por consecuente se encontraron diferentes niveles por cada parcela estudiada, en el cual la media resultante osciló en 2.53 toneladas de carbono por hectárea. Para las parcelas uno, dos, tres y cuatro se registraron los siguientes valores 2.5, 2.36, 2.71 y 2.57 toneladas de carbono por hectárea respectivamente. Al realizar una comparación entre las parcelas para este componente, se evidenció que no presentó una diferencia en el carbono capturado por cada una de las misma, debido a que la cantidad de carbono por la parte aérea está influenciado por el peso del Estipe según lo indicado por (Brown, 1997), al afirmar que el 65 por ciento del carbono obtenido por el estipe equivale al capturado por las hojas. Por esta causa no se encontró una diferencia al compararlas.

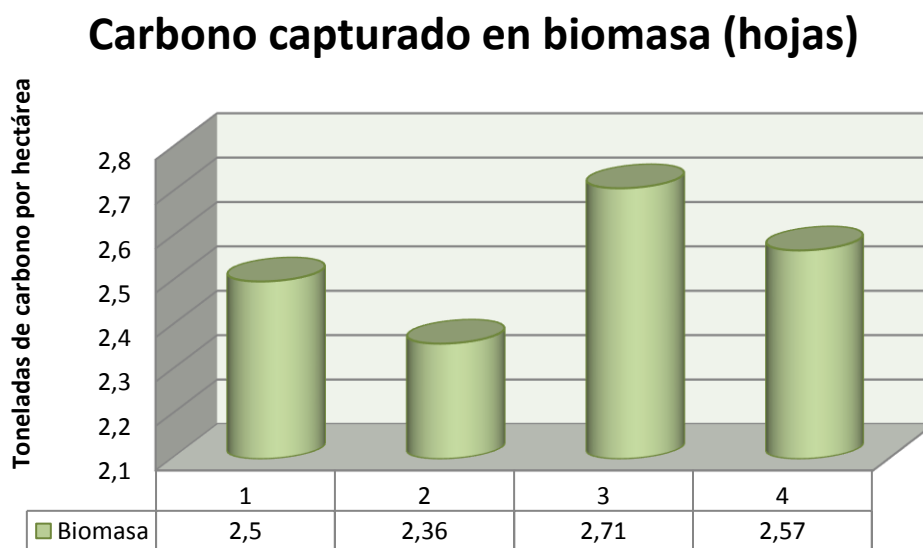


FIGURA 9. CARBONO CAPTURADO POR EL COMPONENTE BIOMASA, COOPEGOTH, 2017.

4.1.3. Carbono en el componente suelo

El muestreo de suelo realizado en el lote 32-33 dentro del sistema palmero de la empresa COOPEGOTH fue representativo ya que se abarco en gran parte el área total de las parcelas a muestrear, las muestras se tomaron a una profundidad de 20 centímetro, obteniendo así datos importantes en la definición del carbono capturado en el suelo.

En el cuadro I, se muestran los resultados de los lotes 32 y 33 de la cooperativa COOPEGOTH. R.L. El pH muestra valores ácidos, la materia orgánica refleja datos bajos, esto es debido a condiciones propia del suelo de Barú en su evolución, mientras que macronutrientes como fosforo, potasio, calcio y magnesio presentaron valores altos. En cuanto a los micronutrientes como manganeso, zinc exhiben valores bajos, el hierro y cobre registraron valores altos, en el caso del cobre se establece una toxicidad por su alta concentración, esto se debe a que estas áreas anteriormente eran ocupada por cultivo de banano, en el cual utilizaban bromuro de cobre para el control fitosanitario de la sigatoka negra en las plantaciones.

Cabe destacar que la disponibilidad alta de fósforo en el área se debe según el (IDIAP, 2010) ha procesos geológicos en los cuales, dentro de su formación, el suelo presenta partes de cenizas volcánicas, lo que influye directamente en la concentraciones altas de fósforo en esta área de Barú.

Para estimar el valor del carbono capturado por el componente suelo se evaluó diferentes variables que presenta el suelo como densidad aparente (D.A), materia orgánica (M.O) y carbono orgánico (C.O). Seguidamente se detallan los resultados.

- **Densidad Aparente (D.A)**

En los datos obtenidos de densidad aparente, el mayor promedio correspondió a la parcela uno con 1.26 gramos por centímetro cúbico, la parcela dos, tres y cuatro obtuvieron valores de 1.17, 1.12 y 1.18 gramos por centímetro cúbico respectivamente, como se indica en el cuadro II.

CUADRO I. ANÁLISIS QUIMICO DEL LOTE 32-33. COOPEGOTH, BARÚ, CHIRIQUI.2017

Parámetros Análisis químico en parcelas de COOPEGOTH.

	Lote 32	Interpretación	Lote #33	Interpretación
Textura	-----	arcilla	-----	Arcilla
pH	5.48	Ácido	5.69	Ácido
Acidez	0.2 meq/100g	BAJO	0.2 meq/100g	BAJO
Fósforo	65 ppm	ALTO	66 ppm	ALTO
Potasio	508 ppm	ALTO	496 ppm	ALTO
calcio	59.50 meq/100g	ALTO	56.51 meq/100g	ALTO
Magnesio	22.56 meq/100g	ALTO	22.90 meq/100g	ALTO
Cobre	101 ppm	ALTO	48 ppm	ALTO
Manganeso	14 ppm	BAJO	8 ppm	BAJO
Zinc	4 ppm	BAJO	3 ppm	BAJO
Sodio	81 ppm	MEDIO	68 ppm	MEDIO
Hierro	92 ppm	ALTO	98 ppm	ALTO
%M.O	2.89	Baja	2.23	Baja

La parcela uno estableció una diferencia de 0.14 gramos por centímetro cúbico, en relación al valor más bajo obtenido por la parcela tres.

Es importante señalar que la densidad aparente es un factor importante para determinar el carbono orgánico en los suelos, además se encuentra relacionada con el grado de materia orgánica que presentan los suelos y a la vez con el carbono orgánico existente en dicha materia (Martinez,2008). Según Arosemena *et al* (SF) a través del IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá) los suelos en Puerto Armuelles pueden llegar hasta 1.83 gramos por centímetro cúbico como valores máximos, lo que nos indica que los datos encontrados en las parcelas del lote 32-33 son aceptables y se encuentran dentro del rango establecidos para estas áreas, como se muestra en la figura 10.

CUADRO II. PARAMETROS EVALUADOS EN EL SUELO POR PARCELA EN LA COOPERATIVA COOPEGOTH, LOTE 32-33,2017.

	D.A (g/cm ³)	%M.O	% C.O	P.M (cm)	Ton.Ha ⁻¹ C
Parcela 1	1.26	3.83	2.2	20	55.4
Parcela 2	1.17	3.83	2.2	20	51.48
Parcela 3	1.12	7.66	4.4	20	98.56
Parcela 4	1.18	3.06	1.8	20	42.48
Promedio					61.98

Dónde:

M.O: Materia orgánica (%)

D.A= Densidad aparente (g/cm³)

C.O= Carbono Orgánico (%)

P.M= profundidad de muestreo (cm)

▪ **Porcentaje de materia orgánica (%M.O) y carbono orgánico (%C.O)**

En los parámetros evaluados se encontró que la parcela con mayor porcentaje de material orgánico evidentemente fue la tres con 7.66 por ciento, mientras que el menor porcentaje lo obtuvo la parcela cuatro con 3.06 por ciento de material orgánico, en tanto a las parcelas uno y dos estas obtuvieron el mismo resultado con 3.83 por ciento de material orgánico Ver cuadro II, para así contar con una media de 4.5 por ciento. Estos datos se asemejan al estudio realizado por Arosemena *et al* (S.F) en suelo ubicado en Barú, específicamente en el poblado de Berbá y Chiriquí Viejo en donde se encontraron valores medios de 2.89 por ciento y 3.15 por ciento. Según Villareal, (2013), los suelos de Barú presentan valores de material orgánico en rangos de 2-4 por ciento de materia orgánica.

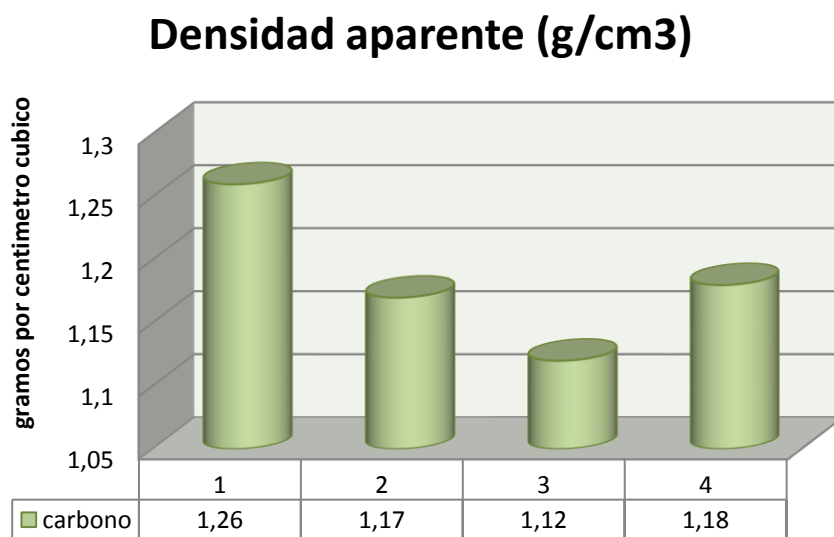


FIGURA 10. DENSIDAD APARENTE EN PARCELAS ESTABLECIDAS, COOPEGOTH, 2017.

El carbono orgánico presente en la parcela tres fue el más alto con 4.2 por ciento mientras que la parcela uno y dos obtuvieron 2.2 por ciento y por último la parcela cuatro con 1.8 por ciento de carbono orgánico. Ver figura 11. Cabe destacar que la parcela tres obtuvo el contenido de material orgánico más alto debido a que en ella se practicaba la agricultura orgánica, en la cual se adicionaba material orgánico extra dentro de la misma¹. Con el pasar del tiempo, este material se a mineralizado dentro de esta parcela en comparación a las demás. Cabe destacar que el carbono orgánico representa el elemento más importante de la materia orgánica (Martínez, 2008), debido a esto en la parcela tres la relación entre el carbono orgánico y materia orgánica fueron altas.

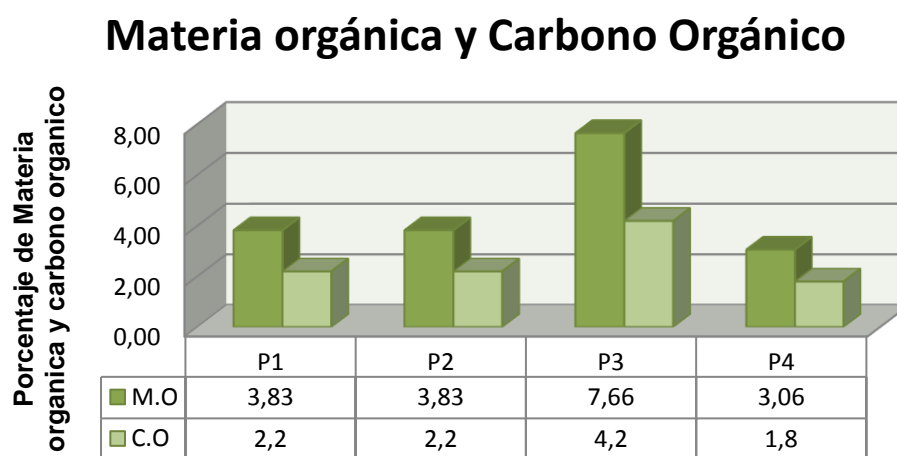


FIGURA 11. PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA Y CARBONO ORGANICO POR PARCELA, COOPEGOTH, 2017.

¹ Alvarado. L. 2017. Manejo de Palma Aceitera (Entrevista).Barú, PAN. Cooperativa Omar Torrijos Herrera.

Al analizar las variables como densidad aparente, materia orgánica y carbono orgánico se obtuvo el carbono almacenado por el suelo en el cual, la parcela con mayor carbono almacenado fue la parcela tres con 98.56 Toneladas de carbono por hectárea, debido a que la cantidad de materia orgánica dentro de la misma fue alta. Según Matus, 2000 los residuos o material orgánico expuesto en el sistema entran en un estado de degradación por los microorganismos y mineralización, liberando gran parte de carbono al sistema, aumentando la relación C/N del suelo. Las parcelas uno, dos y cuatro presentan los siguientes datos 55.4, 51.48 y 42.48 toneladas de carbono por hectárea respectivamente, obteniendo una diferencia entre el valor alto con el mínimo de 56.14 toneladas de carbono por hectárea. Como indica la figura 12

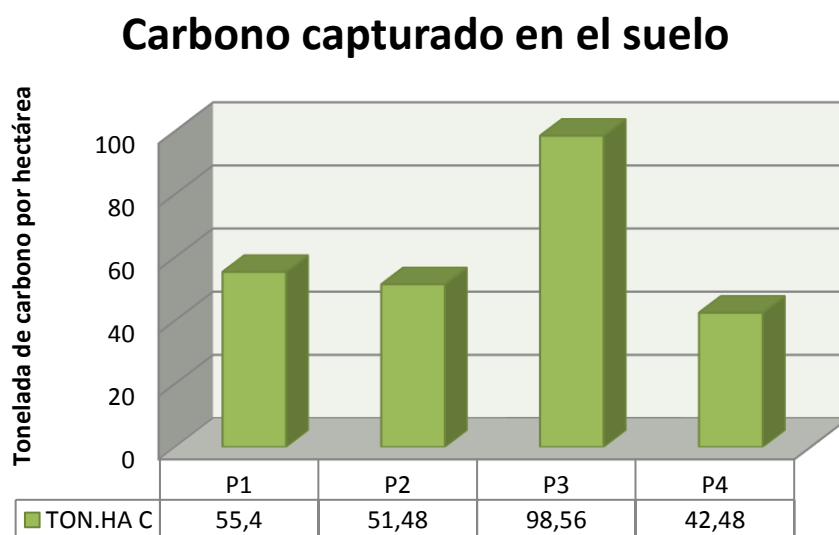


FIGURA 12. CARBONO CAPTURADO EN EL SUELO POR PARCELA, COOPEGOTH, 2017.

En general la media obtenida para el componente suelo es de 61.98 T C ha¹ a una profundidad de muestreo de 20 centímetros como se puede observar en el Cuadro

III; este valor es comparable con estudio realizado en Costa Rica por la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda EARTH (2006), en donde se analizó la captura de Carbono en plantaciones de palma aceitera de siete años de edad en suelos Andisoles, a una profundidad de muestreo de 30 centímetro reportando valores de 73.34 Toneladas de carbono por hectárea.

Además los datos son comparable a estudio realizado en Perú por Cañarí, 2012, el cuál analizo el carbono almacenado en palma aceitera de 10 año de edad, a una profundidad de muestreo de 0-30 centímetro, en el cual se encontraron datos de 43.66 toneladas de carbono por hectáreas promedio en comparación a la investigación presente que registro 61.98 toneladas de carbono por hectárea

CUADRO III. CARBONO CAPTURADO POR COMPONENTE EN SISTEMA PALMERO. COOPEGOTH, R.L. 2017.

Carbono capturado por componentes de la palma aceitera (toneladas de carbono por hectárea)			
Parcelas	estipe	hoja	Suelo
1	3.85	2.5	55.4
2	3.63	2.36	51.48
3	4.17	2.71	98.56
4	3.93	2.57	42.84
Media	3.93	2.53	61.98

4.2. Análisis de la varianza (LSD Fisher) para determinar diferencia estadísticamente de carbono en función de los componentes de *Elaeis guineensis*.

En el análisis estadístico realizado a los tres componente del sistema estudiado se encontró diferencia significativa entre el componente suelo y el resto de los

componentes Estipe y Biomasa, cumpliendo la hipótesis de investigación, como se indica en el cuadro IV, con un $r^2 = 0.83$ y el coeficiente de variación = 63.21 esto indica que existe un control sobre el error experimental y se afirma que existe una diferencia significativa al 0.05 entre el carbono secuestrado por los componentes en el estudio. La diferencia encontrada entre el suelo versus la biomasa es de 59.45 T C ha⁻¹, mientras que la diferencia entre el suelo versus el Estipe es de 58.05 T C ha⁻¹

Dentro de cada componente Estipe, Biomasa y suelo por parcela se aprecia el aporte significativo del carbono capturado que brinda cada uno al sistema. En el cuadro III, se observa que tanto en el estipe, biomasa y suelo de la parcela tres presenta mayor cantidad de carbono capturado en comparación a las otras, esto se debe a que como se mencionó anteriormente la cooperativa dentro del manejo agronómico brindado a este sector le adicionaban material orgánico extra, utilizado por la planta dentro de su metabolismo para producir biomasa y dentro de la misma almacenando carbono en sus paredes celulares (FAO, S.F).

CUADRO IV. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (LSD Fisher) PARA DETERMINAR DIFERENCIA ESTADÍSTICAMENTE DE CARBONO EN FUNCIÓN A LOS COMPONENTES.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	R ²	CV
Modelo.	9206.90	2	4603.45	22.13	0.0003	0.83	63.21
Estrato	9206.90	2	4603.45	22.13	0.0003		
Error	1872.05	9	208.01				
Total	11078.95	11					

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=23.06989

Error: 208.0060 gl: 9

Componente	Medias	n	E.E.	
Biomasa	2.53	4	7.21	A
Estipe	3.93	4	7.21	A
Suelo	61.98	4	7.21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Detalladamente el sistema palmero de 10 años de edad en los lotes 32-33 de la cooperativa COOPEGOTH, presentó una captura total de 68.44 toneladas de carbono por hectárea promedio, en el cual el estipe y la biomasa aérea (hojas) presentan valores de 3.93 y 2.53 toneladas de carbono por hectárea, representando seis por ciento para el estipe y cuatro por ciento para la biomasa aérea (hojas) del total de carbono capturado por la especie *Elaeis guineensis*. En cuanto al componente suelo, presenta un valor de 61.98 toneladas de carbono por hectárea, estimando un dato de 90 por ciento del carbono total. En la figura 13 se explica detalladamente lo mencionado.

Porcentaje medio de carbono capturado por componente.

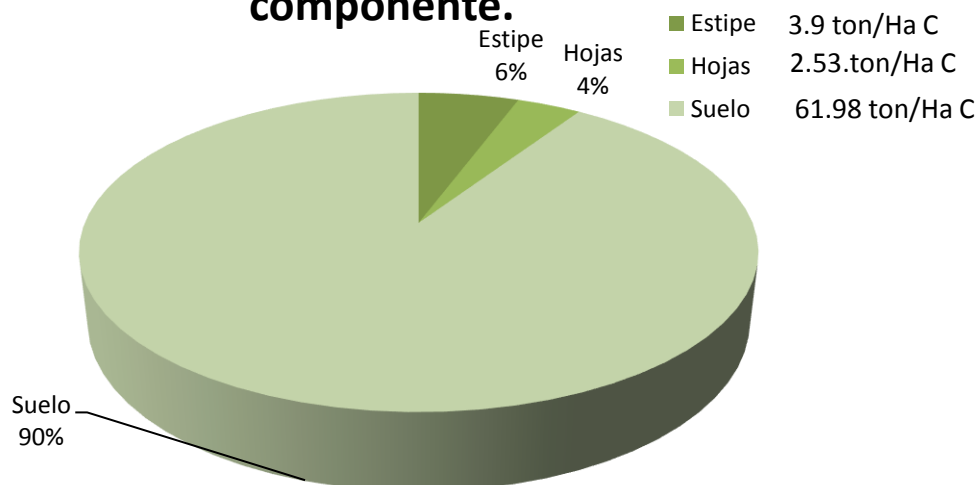


FIGURA 13. PORCENTAJE CAPTURADO POR CADA COMPONENTE EN EL SISTEMA PALMERO. 2017.

5. CONCLUSIONES

- Se diferenciaron estadísticamente los datos de suelo versus la biomasa y estipe dando como resultado que existe una diferencia significativa, cumpliendo así la hipótesis de investigación, en el cual existe una diferencia del suelo versus la biomasa de $59.45 \text{ T C ha}^{-1}$, mientras que la diferencia entre el suelo versus el Estipe es de $58.05 \text{ T C ha}^{-1}$
- Se pudo establecer un total de cuatro parcelas de mediciones temporales dentro de los lotes 32-33, con una dimensión de 2500 metros cuadrado para el cálculo de carbono en el suelo, estipe y hojas de la plantación de palma aceitera.
- El componente suelo, reportó una media de 61.98 toneladas de carbono por hectárea en las parcelas de la Cooperativa. COOPEGOTH.R.L, siendo el componente que presentó el porcentaje mayor de carbono almacenado con un 90 por ciento.
- El carbono proveniente de la biomasa y estipe en donde los mismos promediaron valores de 2.53 toneladas de carbono por hectárea para la biomasa (cuatro por ciento) y 3.93 toneladas de carbono por hectárea para el Estipe (seis por ciento).
- El modelo alométrico $Y = 6.666 + 12.826 * (HT^{0.5}) * \ln (HT)$, fue el mejor ajuste para este estudio, permitiendo estimar diámetros de 1-33 centímetro promedio.

- Se calcularon las variables dasométricas de diámetro y altura, presentando valores promedio para la parcela uno, dos, tres y cuatro de 5.10, 4.81, 5.54 y 5.25 metros de altura respectivamente y 25.81, 25.70, 26.16 y 26.07 centímetro de diámetro.

6. RECOMENDACIONES

Es primordial que Instituciones como Miambiente (Ministerio de Ambiente), IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria) y MIDA (Ministerio de desarrollo Agropecuario), impulsen al cultivo de palma aceitera como mecanismo de mitigación ambiental.

Se recomienda realizar estudio de las raíces de la especies *Elaeis guinnensis* ya que en el presente estudio no se estimó y por ende es una variable importante para conocer el aporte total de carbono capturado por parte del cultivo.

Es importante realizar monitoreos en las diferentes parcelas de acuerdo a sus edades para analizar si aumenta o disminuye el carbono en el sistema.

Se recomienda que se tenga accesibilidad a las plantaciones para utilizar el método directo, ya que es un método más preciso para la estimación de la biomasa en las palmeras que el método utilizado en esta investigación.

Es importante realizar estudio de carbono en palmas aceitera en parcelas que no se le ha adicionado materia orgánica al sistema.

7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Arosemena *et al.* S.F. determinación de las características físico-químicas de los suelos utilizados para el cultivo de plátano (en línea), Barú, Pan. Consultado: 21. Sep del 2017. Disponible en:

http://www.musalac.org/proyectos/fontagro_plat/posters/JT_Arosemena_Suelos.pdf

Atlas Ambiental de Panamá. 2010. Consultado 3 May. 2017. Disponible en: www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/mg/AtlasAmbiental.pdf

Brown. S. 1997. La estimación de la biomasa de los bosques tropicales: una cartilla. (Estudio FAO Montes - 134) (En línea). Illinois, EE.UU. 134 p Consultado 26 feb. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>

Cañari. A. 2012. Fijación y almacenamiento de carbono en plantaciones de palma aceitera en el eje de la carretera neshuya-curimaná, provincia de padre abad, región ucayali, 2012. (en línea) . Ucayali, PER. Consultado: 2. Dic del 2017. Disponible en: <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/13>

Carrera, O. 2008. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo bajo una plantación de *Terminalia amazonia*, en la Finca Madera Fina Futuro Forestal S.A Las Lajas, Distrito de San Félix, Provincia de Chiriquí, Tesis de Ingeniería en Manejo de Cuenca y Ambiente, Chiriquí, PA. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Panamá. 63p.

Carrera. M. 2011. Captura de carbono en plantaciones forestales de eucalipto (*Eucalyptus deglupta*), Pino caribe (*Pinus caribaea var. hondurensis*), Amarillo

(*Terminalia amazonia*), Amarillón extranjero (*Terminalia ivorensis*) y Caoba Africano (*Khaya senegalensis*). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá. Tesis. Lic. Chiriquí, Panamá. Facultad de Ciencia Agropecuaria. 84p

Castilla. C. 2004. Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia. (En línea). Colombia, Col. Consultado: 25 feb. 2017. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/1101/1101>

Duran. N. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización en palma aceitera en costa rica (en línea). Universidad de Costa Rica, CR. Consultado: 30. Nov del 2017. Disponible en: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_305.pdf

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra (en línea). Paris, FRA. Consultado 22. Sept del 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). S.F. Las plantas (en línea). Consultado: 2. Dic del 2017. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s07.htm>

Forsythe, W. 1974. Física de suelos. Turrialba, CR: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la Organización de Estados Americano (IICA). 212 p

Gamarra, P. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de Eucaliptus globulus Labill, en Junin, Perú. (en línea) Junin, PER. Consultado 2 mar.2017. Disponible en:

http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/35_Gamarra.PDF

Giménez, L. 2015. La rentabilidad de la palma aceitera atrae a productores (en línea). Panamá, PAN. Consultado 3 May. 2017. Disponible en:

<http://www.panamaamerica.com.pa/economia/la-rentabilidad-de-la-palma-aceitera-atrae-productores-970954>

González. J. 2000. Crecimiento de árboles de sombra (en línea). Turrialba, CR.

Consultado 19. May del 2017. Disponible en: <https://www.catie.ac.cr/publicaciones-catie/7855/simarouba-glauca.html>

Google Earth. 2017. Consultado 18 de may del 2017. Disponible en:

<https://www.google.com/earth/>

IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuarias de Panamá). 2010. Clasificación de suelos de Panamá y su equivalencia (en línea) Panamá, PA. Consultado: 15. Sep del 2017. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/301291244_CLASIFICACION_DE_SUELOS_DE_PANAMA_Y_SUS_EQUIVALENCIAS_2010_1

Kanninen, M. 2003. Secuestro de carbono en bosque, su papel en el ciclo global (en línea). Consultado 18. Jul de 2017. Disponible

<http://www.fao.org/docrep/006y4435s09.htm>)

Leblanc, H. 2006. fijación de carbono en palma aceitera en la región tropical húmeda de Costa Rica. Limón, CRC. Consultado 12. May del 2017. Disponible en: tierratropical.org/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=37

Lino. Z. 2009. Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundaria de Bolaina en la Cuenca del Rio aguaytia, Ucayali, Perú (en línea). Pucallpa, PER. Consultado 1 mar. 2017.

Mapama (Ministerio de Pesca, Agricultura y Medio Ambiente). S.F. Cambio Climático (en línea). España, ESP. Consultado: 30. Nov del 2017. Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>

Matus. f. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno (en línea) consultado: 1. Dci del 2017. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072000000200003

Martínez, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo (en línea), Santiago, Chile. Consultado: 1 May.2017. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006

McKay, A. 2000. Clasificación climática de Panamá. Panamá, PAN. Atlas Ambiental de Panamá.

Melendez. G. 2003. Taller de abonos orgánico. (en línea). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (**CATIE**), CR. Consultado: 1. Dic del 2017.

Disponible en:

<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>

Meza, C. 2012. Actualidad fitosanitaria (en línea). CRC. Consultado: 4 May. 2017.

Disponible: <https://www.sfe.go.cr/BoletinesActualidadFitosanitaria/N%C2%B0%205%20Flecha%20Seca%20en%20palma%20africana%20estrategias%20de%20manejo.pdf>

MIAMBIENTE (Ministerio de Ambiente).2016. Protocolo d Kioto (en línea). Panama, PAN. Consultado: 30. Nov del 2017. Disponible:

<http://www.miambiente.gob.pa/index.php/mitigacion/instrumentos-de-mitigacion/cmnucc/protocolo-de-kioto>

MIAMBIENTE (Ministerio de Ambiente).2016. Seguridad nacional y cambio climático (en línea). Panamá, PAN. Consultado: 30. Nov del 2017. Disponible en:

https://sustainabledevelopment.un.org/content/dsd/resources/res_pdfs/ga-64/cc-inputs/Panama_CCIS.pdf

Ortiz. A. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *theobroma cacao* / y laurel *cordia alliodora* (ruiz & pavón) oken en la reserva indígena de Talamanca, costa rica. (en línea). San Juan, CR. Consultado: 1. Dic del 2017.

Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3706e/A3706e.pdf>

ONU (Organización de la Naciones Unidas). 2014. La convención de cambio climático. Consultado: 4. Dic del 2017. Disponible en: http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/la_convencion/items/6196.php

Painter, C. 2015. Cambio climático en américa latina (en línea). Consultado: 2 may. 2017. Disponible en: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/12/151201_cop21_america_latina_preocupacion_clima_gtg

Picard. N. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles (en línea). Consultado: 1. Dic del 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/018/i3058s/i3058s.pdf>

Rodríguez, C. 2011. Evaluación del carbono capturado en un barbecho de cinco años en la parcela 12 ubicada en el Centro de Investigación Agropecuaria de Chiriquí (CEIACHI), Facultad de Ciencias Agropecuarias. Tesis Ing. En Manejo de Cuenca y Ambiente, Chiriquí, Panamá. Facultad de ciencia agropecuaria. 75p

Rugnitz. M. et al. 2008. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. (En línea). Lima, PER. 79 p. Consultado 1 mar. 2017. Disponible en: http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF_GuiaDeterminacionCarbono_esp.pdf

Tosí, J. 1971. Zonas de Vida: una base ecológica para investigaciones silvícolas e inventariación forestal en la República de Panamá. FAO, Rome. PA. 15 p

Vargas. A. 2013. Secuestro de Carbono en un Banco de Proteína de la especie Botón de oro (*Tithonia diversifolia*), a ocho años de establecimiento en la Finca Los Mamecillos, en la comunidad de El Banco de Rovira, provincia de Chiriquí. Tesis. Ing. Manejo de Cuencas Y ambiente. Chiriquí, Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuaria.

Vásquez, J. 2014. Principal rubro en Chiriquí (en línea). Chiriquí, Pan. Consultado: 3 May. 2017. Disponible en: <http://www.panamaamerica.com.pa/provincias/palma-de-aceite-es-ahora-el-principal-rubro-en-chiriqui-957430>

Villareal. N. 2013. Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con banano en panamá. (en línea), Panamá, PAN. Consultado: 2. Dic del 2017. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/viewFile/12530/11771>

ANEXOS

ANEXO 1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE.2017

PESO SECO					
Parcela#1	peso (g)	P.cilindro (g)	P.seco real (g)	promedio (g)	D.aparente
1.1	215.4	94.5	120.9	123.75	1.26
1.2	221.1	94.5	126.6		
Parcela#2					
2.1	206.4	94.5	111.9	115.2	1.17
2.2	213	94.5	118.5		
Parcela#3					
3.1	202.5	94.5	108	110.85	1.12
3.2	208.2	94.5	113.7		
Parcela#4					
4.1	209.6	94.5	115.1	116.7	1.18
4.2	212.8	94.5	118.3		

ANEXO 2. DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.2017

Muestras	Val. De muestra	Val. En Blanco de solución Ferrosa(ml)	% M.O
1a	7.5	10.5	3.83
2a	7.5	10.5	3.83
3a	4.5	10.5	7.66
4a	8.1	10.5	3.06

ANEXO 3. DATOS DE ALTURA DE LAS PALMA ACEITERA POR PARCELAS.

PARCELA#1				PARCELA#2			
PALMERAS	ANGULO	DIST (m)	ALTURA (m)	PALMERAS	ANGULO	DIST (m)	ALTURA (m)
1	17° 13' 24''	9	2.79	1	35° 25' 01''	9	6.4
2	21° 15' 01''	9	3.5	2	20° 41' 44''	9	3.4
3	31° 53' 26''	9	5.6	3	32° 20' 50''	9	5.7
4	28° 04' 21''	9	4.8	4	34° 33' 45''	9	6.2
5	23° 57' 45''	9	4	5	35° 50' 15''	9	6.5
6	26° 33' 54''	9	4.5	6	23° 25' 43''	9	3.9
7	33° 41' 24''	9	6	7	24° 29' 31''	9	4.1
8	29° 03' 16''	9	5	8	28° 04' 21''	9	4.8
9	30° 29' 36''	9	5.3	9	27° 04' 19''	9	4.6
10	32° 20' 50''	9	5.7	10	26° 33' 54''	9	4.5
11	25° 01' 00''	9	4.2	11	29° 32' 20''	9	5.1
12	30° 01' 06''	9	5.2	12	31° 25' 46''	9	5.5
13	27° 04' 19''	9	4.6	13	28° 04' 21''	9	4.8
14	34° 33' 45''	9	6.2	14	27° 34' 28''	9	4.7
15	33° 14' 49''	9	5.9	15	29° 03' 16''	9	5
16	33° 41' 24''	9	6	16	34° 07' 43''	9	6.1
17	27° 34' 28''	9	4.7	17	34° 33' 45''	9	6.2
18	30° 29' 36''	9	5.3	18	17° 51' 36''	9	2.9
19	28° 33' 57''	9	4.9	19	27° 34' 28''	9	4.7
20	35° 50' 15''	9	6.5	20	24° 29' 31''	9	4.1
21	31° 25' 46''	9	5.5	21	23° 25' 43''	9	3.9
22	23° 25' 43''	9	3.9	22	33° 14' 49''	9	5.9
23	35° 25' 01''	9	6.4	23	25° 32' 15''	9	4.3
24	33° 14' 49''	9	5.9	24	25° 01' 00''	9	4.2
25	35° 25' 01''	9	6.4	25	22° 53' 26''	9	3.8
26	25° 32' 14''	9	4.3	26	25° 32' 15''	9	4.3
27	22° 53' 26''	9	3.8	27	27° 04' 19''	9	4.6
28	37° 04' 23''	9	6.8	28	29° 32' 20''	9	5.1
29	25° 01' 00''	9	4.2	29	29° 03' 16''	9	5
30	30° 01' 06''	9	5.2	30	23° 57' 45''	9	4
PROMEDIO			5.10				4.81

PARCELA#3				PARCELA#4			
PALMERAS	ANGULO	DIST(m)	ALTURA (m)	PALMERAS	ANGULO	DIST (m)	ALTURA (m)
1	32° 20' 50''	9	5.7	1	31° 53' 26''	9	5.6
2	27° 04' 19''	9	4.6	2	27° 04' 19''	9	4.6
3	30° 29' 36''	9	5.3	3	35° 50' 15''	9	6.5
4	34° 07' 42''	9	6.1	4	28° 04' 21''	9	4.8
5	37° 52' 30''	9	7	5	33° 41' 24''	9	6
6	23° 25' 43''	9	3.9	6	23° 25' 43''	9	3.9
7	28° 04' 21''	9	4.8	7	27° 34' 28''	9	4.7
8	27° 04' 19''	9	4.6	8	29° 03' 16''	9	5
9	35° 50' 15''	9	6.5	9	30° 57' 49''	9	5.4
10	37° 04' 23''	9	6.8	10	40° 29' 36''	9	5.3
11	38° 16' 10''	9	7.1	11	32° 20' 50''	9	5.7
12	30° 57' 49''	9	5.4	12	34° 07' 42''	9	6.1
13	35° 50' 15''	9	6.5	13	26° 33' 54''	9	4.5
14	32° 47' 58''	9	5.8	14	34° 59' 31''	9	6.3
15	29° 32' 19''	9	5.1	15	37° 52' 29''	9	7
16	28° 33' 57''	9	4.9	16	22° 53' 26''	9	3.8
17	30° 57' 49''	9	5.4	17	27° 34' 28''	9	4.7
18	34° 59' 31''	9	6.3	18	33° 14' 49''	9	5.9
19	33° 41' 24''	9	6	19	27° 04' 19''	9	4.6
20	34° 07' 43''	9	6.1	20	28° 33' 57''	9	4.9
21	33° 14' 49''	9	5.9	21	32° 20' 50''	9	5.7
22	32° 47' 58''	9	5.8	22	35° 25' 01''	9	6.4
23	26° 33' 54''	9	4.5	23	30° 29' 36''	9	5.3
24	28° 33' 57''	9	4.9	24	34° 33' 45''	9	6.2
25	21° 48' 05''	9	3.6	25	30° 01' 06''	9	5.2
26	26° 03' 12''	9	4.4	26	25° 32' 14''	9	4.3
27	30° 29' 36''	9	5.3	27	22° 20' 53''	9	3.7
28	35° 50' 15''	9	6.5	28	32° 47' 58''	9	5.8
29	32° 20' 50''	9	5.7	29	21° 15' 02''	9	3.5
30	32° 47' 58''	9	5.8	30	34° 07' 42''	9	6.1
PROMEDIO			5.54333333				5.25

ANEXO 4. DIÁMETRO PROMEDIO DE ESTIPE POR PARCELAS.

PARCELA#1		PARCELA#2		PARCELA#3		PARCELA#4	
PALMERA S	Diámetro (cm)	PALMERAS	Diámetro(cm)	PALMERAS	Diámetro(cm)	PALMERAS	Diámetro(cm)
1	27	1	26.5	1	25	1	24
2	23	2	23	2	27	2	26
3	26	3	24.9	3	27.6	3	23.4
4	21	4	25.8	4	28.9	4	26.9
5	27	5	26	5	25.9	5	27.8
6	28	6	27	6	23.7	6	25.1
7	21	7	28.6	7	28.9	7	21
8	25	8	29.4	8	24.7	8	22.5
9	26	9	23.5	9	28	9	27
10	23.8	10	22.9	10	23	10	23.4
11	29.4	11	24	11	22	11	29.6
12	29.5	12	26.7	12	25.6	12	27.5
13	30.1	13	28.9	13	27.9	13	28
14	28	14	24	14	28.4	14	23.4
15	25	15	27.8	15	23.2	15	27.5
16	23	16	25.8	16	29.1	16	28.3
17	24.7	17	24.9	17	27.5	17	29.4
18	25.8	18	28	18	28.2	18	30.1
19	29	19	25.9	19	24.6	19	23.4
20	27.4	20	23	20	29.2	20	21.5
21	25.6	21	22.7	21	30	21	29.4
22	28.4	22	27	22	25.4	22	28.2
23	22.6	23	23	23	24	23	29.4
24	22.9	24	23.9	24	25	24	27.9
25	24.3	25	28.9	25	28	25	24.9
26	22.7	26	24.6	26	23.6	26	24.3
27	26.5	27	27.3	27	23.9	27	28.7
28	29.7	28	22	28	26.8	28	25.6
29	28	29	29	29	25.7	29	24.8
30	24	30	26.1	30	24.1	30	23.2

ANEXO 5. INSTALACIONES DE LAS PLANTACIONES DE LA COOPERATIVA
COOPEGOTH.R.L.



ANEXO 6. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARCELAS EN CAMPO.



ANEXO 7. ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA EN EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIA.2017

