

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO POR LA PALMA DE
ACEITE (*ELAEIS* SP), EN LA FINCA POTRERO CHICO, PARATEBUENO-
CUNDINAMARCA.



MARÍA FERNANDA RAMOS MORALES
MARÍA ALEJANDRA RINCÓN JURADO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2020

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO POR LA PALMA DE
ACEITE (*ELAEIS* SP), EN LA FINCA POTRERO CHICO, PARATEBUENO-
CUNDINAMARCA.

MARÍA FERNANDA RAMOS MORALES
MARÍA ALEJANDRA RINCÓN JURADO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniería Ambiental

Asesor
JAIR ESTEBAN BURGOS CONTENTO
Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

Autoridades académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLES GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

MG. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

P YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Notas de Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de la facultad

JAIR ESTEBAN BURGOS CONTENTO

Director trabajo de grado

RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Jurado

ANGÉLICA MARÍA BUSTAMANTE ZAPATA

Jurado

Villavicencio, junio de 2020

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación lo dedicamos principalmente a Dios, por ser quien guió nuestro camino y nos dio la fuerza para culminar este paso tan importante en nuestra vida

A nuestros padres, por su amor, dedicación y sacrificio en todos estos años, pero sobre todo porque gracias a ustedes es que hemos logrado llegar hasta aquí y ser las personas que somos el día de hoy, nos quedamos cortas en agradecerles todo lo que han hecho, pero podemos decir que estamos orgullosas de ser sus hijas.

Al señor Rodrigo Echeverry por ser quien facilitó su propiedad para poder realizar el estudio y por el acompañamiento prestado, a nuestro director Jair Esteban Burgos Contento que desde el momento que nos fue asignado, estuvo ayudándonos a resolver los problemas que se acontecían y a encontrar la mejor solución a ellos.

A todos ellos muchas gracias por formar parte de este proceso y hacer posible uno de los anhelos más deseados por nosotras.

Contenido

	Pág.
Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1. Planteamiento del problema	16
1.1. Descripción del problema.....	16
1.1.1. Formulación en torno al problema	17
2. Objetivos	18
2.1. Objetivo general	18
2.2. Objetivos específicos	18
3. Justificación.....	19
4. Alcance del proyecto	21
5. Antecedentes	22
6. Marco de referencia.....	25
6.1. Marco teórico	25
6.2. Marco conceptual	26
6.3. Marco Legal	29
7. Metodología	32
7.1. Fase 1. Caracterización de las condiciones edafoclimáticas y los procesos productivos en la zona de estudio.....	32
7.1. Fase 2. Estimación del potencial de captura.	34
7.1.1. Estimación del potencial de captura mediante i-Tree Eco.....	34
7.1.2. Estimación del potencial de captura mediante Ecuaciones alométricas	36
7.2. Fase 3. Planteamiento de estrategias de mitigación en cultivos de palma de aceite.	37
8. Desarrollo central	38
8.1. Fase 1. Condiciones edafoclimáticas y los procesos productivos en la zona de estudio. ..	38
8.2. Fase 2. Potencial de captura de CO ₂ por la palma de aceite.....	49
8.2.1. Estimación de la captura de CO ₂ mediante i Tree-Eco.....	49
8.2.1. Estimación de captura de CO ₂ mediante ecuaciones alométricas.....	51
8.3. Fase 3. Estrategias o medida de mitigación en cultivos de palma de aceite.	53
8.3.1. Diseño e Implementación de Estrategias de BPA.....	54

Conclusiones	78
Recomendaciones.....	79
Referencias bibliográficas	80
Anexos.....	90

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Normatividad ambiental que rige el sector palmero.	29
Tabla 2. Características del suelo del cultivo de palma de aceite.	32
Tabla 3. Cantidad de individuos de palma de aceite en una hectárea con su correspondiente edad de plantación.	33
Tabla 4. Códigos para determinar la exposición solar de los individuos.	35
Tabla 5. Biomasa - Aportes de nutrición.	54
Tabla 6. Recuperación de coberturas y hábitats naturales.	57
Tabla 7. Rehabilitación y recuperación de áreas: obras para contrarrestar procesos de erosión. ..	64
Tabla 8. Clasificación de residuos.	66
Tabla 9. Cobertura del suelo.	73
Tabla 10. Fertilización del suelo	75
Tabla 11. Cantidad de fertilizante g/planta para cultivo de palma de aceite.	75
Tabla 12. <i>Corona de fertilización específica para plantas de 4 años en adelante.</i>	75
Tabla 13. Erradicación y renovación de plantaciones.	76

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Área de estudio del proyecto,	21
Figura 2. Línea de tiempo-Antecedentes,	24
Figura 3. Materiales empleados para realizar la adición y distribución de biomasa,	54
Figura 4. Formas de realizar la distribución de las hojas (circular y a lo largo de las calles, respectivamente)	55
Figura 5. Flujograma del proceso de plantación y mantenimiento de material vegetal.	57
Figura 6. Materiales y herramientas para el proceso de plantación y mantenimiento de material vegetal.	58
Figura 7. Herramienta para la poda de mantenimiento (malayo y tubo telescópico, respectivamente)	62
Figura 8. Filotaxia de la palma de aceite.	63
Figura 9. Materiales empleados en el desarrollo de obras de bioingeniería	64
Figura 10. Las 3R ecológicas.	69
Figura 11. Tiempo de degradación de residuos cotidianos	69
Figura 12. Demostración de tipos de puntos ecológicos.	72
Figura 13. Cobertura vegetal de Kudzú (Pueraria phaseoloides)	74
Figura 14. Semillas de Kudzú sin escarificar	74
Figura 15. Correcta disposición para el almacenamiento de fertilizantes.	76
Figura 16. Tractor en la etapa de erradicación en cultivo de palma	77

Lista de Gráficas

Pág.

Gráfica 1. Promedios anuales de Temperatura (°C) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca..	39
Gráfica 2. Promedios anuales de Brillo Solar (Horas/Día) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca..	40
Gráfica 3. Promedios anuales de Humedad Relativa (%) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca..	41
Gráfica 4. Promedios anuales de Precipitación (mm) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca..	42
Gráfica 5. Promedios anuales del número de días de lluvia del municipio de Paratebueno-Cundinamarca.	42
Gráfica 6. Promedios anuales de Evaporación (mm) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca..	43
Gráfica 7. Promedios anuales de Evapotranspiración Potencial (mm) del municipio de Paratebueno- Cundinamarca.	44
Gráfica 8. Número de individuos de Palma de acuerdo a su DAP..	49
Gráfica 9.Porcentaje de captura de CO2 por cada lote del cultivo de Palma de Aceite.	50
Gráfica 10. Fijación de CO2 por clase diamétrica.	50
Gráfica 11.Porcentaje de fijación de CO2 por cada lote del cultivo de Palma de Aceite	51
Gráfica 12. Fijación de CO2 por clase diamétrica.	52
Gráfica 13. Diagrama de procesos para la disposición de las hojas.....	55
Gráfica 14.Diagrama de procesos para la disposición de biomasa	56
Gráfica 15. Flujograma de la estrategia de monitoreo para la recuperación de coberturas y hábitats naturales.	62
Gráfica 16. Flujograma de las fases para realizar la poda de mantenimiento.	63
Gráfica 17. Flujograma del proceso de implementación de obras de bioingeniería..	64
Gráfica 18. Flujograma de monitoreo en obras de bioingeniería para contrarrestar procesos de erosión.	66
Gráfica 19. Flujograma de la disposición adecuada de residuos peligrosos.	70
Gráfica 20.Elementos básicos para elaboración de compostaje.....	73

Lista de Anexos

Pág.

Anexo A. Fijación realizada por las 54 palmas de aceite correspondientes del Lote Las 23.	90
Anexo B. Fijación realizada por las 31 palmas de aceite correspondientes del lote Las Marraneras.....	93
Anexo C. Fijación realizada por las 43 palmas de aceite correspondientes del Lote Macho Muerto.	95
Anexo D. Resultados obtenidos de la ecuación alométrica.	98
Anexo E. Parámetros para determinar el estado de la copa de los individuos.....	100
Anexo F. Rangos óptimos para las variables climatológicas en palma de aceite.	102
Anexo G. Rangos óptimos para las condiciones del suelo del cultivo de palma de aceite.	103
Anexo H. Cuadro de clasificación de residuos.	104

Resumen

El aumento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) presentes en la atmósfera, está relacionado con las actividades antrópicas y los procesos naturales. En el presente estudio, se estima el potencial de fijación de CO_2 por parte de la palma de aceite (*Elaeis* sp), en una hectárea, lo cual se realizó mediante el software i-Tree Eco y una ecuación alométrica arrojando resultados de 12129,12; y 4549,56 Kg de CO_2 respectivamente. Para esto, se tuvieron en cuenta variables como la edad, diámetro, altura, entre otras. Adicionalmente, se caracterizaron los procesos productivos y las condiciones edafoclimáticas del cultivo y finalmente, se plantean estrategias de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) que maximizan el potencial de fijación y contrarrestan el aumento de estas concentraciones.

Palabras Clave: Dióxido de carbono (CO_2), Palma de aceite (*Elaeis* sp), Buenas prácticas agrícolas (BPA) y Mitigación.

Abstract

The increase in carbon dioxide (CO₂) emissions in the atmosphere is related to anthropic activities and natural processes. In the present study, the CO₂ fixation potential of the oil palm (*Elaeis sp*), in one hectare, was estimated, which was performed using the i-Tree Eco software and the allometric equation yielding results of 12129.12; and 4549.56 Kg of CO₂ respectively. For this, variables such as age, diameter, height, among others, were taken into account. Additionally, the productive processes and the edaphoclimatic conditions of the crop were characterized, and finally, Good Agricultural Practices (GAP) strategies were proposed that maximize the potential for its and counteract the increase in these concentrations.

Key Words: Carbon dioxide (CO₂), Oil palm (*Elaeis sp*), Good agricultural practices (GAP) and Mitigation.

Introducción

Actualmente, se considera que la captura y almacenamiento de CO₂ es una alternativa viable para disminuir el fenómeno del cambio climático generado por las actividades antrópicas como la deforestación, cambios de usos de la tierra, el uso de combustibles fósiles, la quema de biomasa vegetal, entre otros; este se ha convertido en uno de los potenciales problemas ambientales del siglo XXI debido al exceso y acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, (Ministerio del Ambiente, 2009). El cambio climático afecta de manera negativa los procesos ecológicos, económicos y sociales que rigen el planeta (IPCC, 2001). Cabe resaltar que los bosques naturales y los sistemas agroforestales desempeñan un papel importante en la regulación climática debido a su capacidad de asimilar e intercambiar carbono con la atmósfera y la biomasa mediante su proceso de fotosíntesis; prestando un servicio ecosistémico, al actuar como un sumidero de carbono natural ayudando a mitigar los efectos del CO₂ en el cambio climático, de tal forma que los sistemas agroforestales lo mantengan almacenado el mayor tiempo posible en su biomasa vegetal, convirtiéndola parcialmente en materia orgánica y oxígeno (Pimienta de la Torre, Domínguez, Aguirre, Hernández, & Jiménez, 2007).

En este caso el cultivo de palma de aceite, se constituye como un gran ente de mitigación de CO₂ para el municipio de Paratebueno-Cundinamarca, debido a su extensión y existencia de cobertura boscosa; pero a pesar de su importancia no se ha tenido en cuenta ya que no existen métodos evaluados que estimen su potencial de captura. Por otro lado, en Colombia se han desarrollado pocas metodologías para estandarizar los procesos del cálculo tanto de las emisiones como de la captura de carbono en diferentes especies, obteniendo resultados verídicos, reproducibles y comparables, pero en cuanto a la palma de aceite como cultivo agroindustrial no se han realizado, ya que aún no se reconoce como una estrategia de mitigación. Algunas metodologías que permiten estimar la cantidad de carbono almacenado son basadas en ecuaciones matemáticas, específicamente las alométricas, teniendo en cuenta parámetros edafoclimáticos del cultivo (Salinas & Hernández, 2008).

Lo anterior mencionado, hace necesario desarrollar una investigación que evalúe el potencial de captura y almacenamiento de CO₂, para ello se utilizó la palma de aceite cultivada en el municipio de Paratebueno-Cundinamarca, con el fin de conocer el aporte de este sistema

agroforestal en la reducción de los impactos negativos del incremento de CO₂ en la atmósfera. Para realizar las estimaciones mencionadas se empleó el software i-Tree Eco y ecuaciones alométricas específicas para la palma de aceite, las cuales se basaron en datos tomados en campo, historiales del cultivo mediante la observación de variables, como la incidencia de luz y estado de la copa, entre otras.

Por otro lado, se caracterizaron las condiciones edafoclimáticas donde se encuentra el cultivo, debido a que, con el análisis de estas, adjuntas a los resultados de fijación de CO₂ se plantean estrategias encaminadas a la BPA, mediante las cuales se genera un valor agregado al productor y/o cultivador al maximizar la productividad del cultivo y benefician al medio ambiente por medio de la mitigación de CO₂, haciendo que este estudio sirva como línea base para la elaboración de nuevos proyectos para palma de aceite y que en zonas similares se pueda replicar con el fin de mejorar la productividad y desarrollo para este tipo de cultivos.

1. Planteamiento del problema

1.1.Descripción del problema

El principal responsable del cambio climático, son las emisiones de GEI derivadas de las actividades humanas; que han venido aumentando los niveles de concentración de CO₂, CH₄, N₂O, CFC, Ozono y SF₆ en la atmósfera, superando los niveles normales, lo cuales suelen permanecer de 100 a 1000 años afectando la salud y el bienestar humano (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007).

Al ser una problemática de nivel mundial y la cual se acrecienta con el tiempo, es necesario encontrar la manera de disminuir los niveles de producción y liberación de GEI. Para ello se ha evidenciado que, mediante la implementación de cultivos agroforestales, existe una disminución en la liberación directa de CO₂ a la atmosfera, lo cual resulta como estrategia para controlar en cierta medida la exposición a los GEI.

Colombia cuenta con 59'311.350 hectáreas de cobertura boscosa que representa el 52% de la superficie del país (IDEAM, 2017). No obstante, la pérdida de área forestal en el país durante el periodo 2016-2017 fue de 219.973 hectáreas, donde el departamento de Cundinamarca aportó el 2% de esta deforestación, debido a cambios en el uso del suelo e incendios (IDEAM, 2018) (IDEAM, 2017). La mayoría de las áreas deforestadas son destinadas a usos agrícolas, por lo tanto, se ha centrado la atención en la captura de carbono fijada en dichas áreas, debido a la función que cumplen estos sistemas agrícolas frente al cambio climático.

Adicionalmente, Colombia participa en el acuerdo de la cumbre de Paris comprometiéndose con reducir un 20% de las emisiones para el 2030. A causa de esto, muchos agricultores en especial el gremio de palmicultores implementaron en sus cultivos una gestión de buenas prácticas permitiéndoles una gran competitividad frente a los estándares internacionales, debido a que la palma de aceite es ampliamente criticada por diversos aspectos negativos ambientales, tales como la disminución del recurso hídrico, modificación de la estructura y la composición de los suelos, alteración de la abundancia y riqueza de la flora y la fauna (Flechas Robles, 2014); que no son causados por la planta, si no por el modo en el que está siendo cultivada. Respecto a lo anterior, el

sector palmero debe cumplir los parámetros de emisiones de fuentes fijas contenidos en la Resolución 909 de 2008, expedida por el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Se hace énfasis en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis* sp) ya que se caracteriza por su crecimiento exponencial en el país con 516.961 hectáreas aproximadamente para el año 2018 (Fedepalma, 2018) y en el departamento de Cundinamarca con 5126 hectáreas en el 2016 (Fedepalma, 2016). El cultivo se ha destacado por tener un gran potencial de captura de CO₂ presente en la atmósfera, permitiendo de este modo que la fijación de CO₂ se lleve a cabo por medio de la fotosíntesis (Fedepalma, 2016).

1.1.1. Formulación en torno al problema

¿En qué medida la palma de aceite (*Elaeis* sp) contribuye con la fijación de CO₂ presente en la atmósfera y qué aporte tendría a las estrategias de mitigación del cambio climático?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el potencial de captura de carbono por la palma de aceite (*Elaeis sp*), cultivada en la finca Potrero Chico ubicada en el Municipio de Paratebueno – Cundinamarca, haciendo uso del software i-Tree Eco.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las condiciones edafoclimáticas y los procesos productivos de la palma de aceite (*Elaeis sp*), cultivada en la finca Potrero Chico ubicada en el Municipio de Paratebueno – Cundinamarca.
- Estimar el potencial anual de captura de carbono por la palma de aceite (*Elaeis sp*), mediante el software i-Tree Eco.
- Proponer alternativas de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) que maximicen el potencial de captura de carbono por parte del cultivo de palma de aceite (*Elaeis sp*), contribuyendo a la reducción de dióxido de carbono emitido a la atmósfera.

3. Justificación

La constante lucha contra el calentamiento global, causada por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente el dióxido de carbono (CO₂) presente en la atmósfera, se debe combatir con la implementación de actividades o proyectos que ayuden a disminuir el daño ambiental que está siendo ocasionado. Para mitigar los efectos del CO₂, es de gran importancia reducir las emisiones del mismo y almacenarlo el mayor tiempo posible en la biomasa de las plantas, mediante cultivos agrícolas y la implementación de buenas prácticas ambientales en los mismos.

El cultivo de palma de aceite (*Elaeis* sp) actúa como un mecanismo natural de mitigación de GEI (Atiqul Haq, 2011), debido a que no solo actúa como sumidero de carbono natural al absorber y almacenar el CO₂, si no que por su naturaleza multifuncional, puede mejorar la calidad de vida de las personas por algunos servicios ambientales que ofrece (Francesc, y otros, 2014).

La palma de aceite es ampliamente cuestionada en temas de sostenibilidad ambiental, a causa de la deforestación y los problemas que esta actividad conlleva para la vida silvestre, además en lo social se reconocen conflictos por el uso de tierras y la calidad de empleo proporcionado. Estas críticas desprestigian al cultivo, sin tener en cuenta que no en todos los casos se desarrolla de esta manera y que en muchos de estos se debe a la técnica empleada más no al cultivo, por lo que no debe ser un concepto generalizador (fedepalma, 2016).

Sin embargo, existe información documentada que defiende el cultivo de palma a partir de la implementación de técnicas sostenibles en tres aspectos importantes como lo son el ambiental, social y económico. En cuanto a lo ambiental cabe resaltar que, en algunas partes de este tipo de cultivos en Colombia, a diferencia de otros países, no está causando un proceso de deforestación directo, es decir, no se tala bosque para sembrar palma, pero si está haciendo un cambio en la cobertura de suelo, es decir, se cambia de sabana o de pasturas a un bosque de monocultivo de palma (Mujica Granados, 2010). Por otro lado, en el ámbito social se reconoce que mejora las condiciones de vida de la población rural mediante el incremento y formalización de los empleos comparado con otras actividades productivas del sector, favoreciendo a la reducción del índice de pobreza en las zonas rurales. De tal forma que por cada “1% del área en producción en palma de

aceite, reduce entre 0,15 y 0,25 puntos porcentuales los niveles de pobreza”. Por último, en el sector económico este cultivo representa gran productividad, generando mayores aportes económicos a los productores y comercializadores (fedepalma, 2016).

El cultivo de palma de aceite crea microclimas y ambientes favorables para la sostenibilidad de los cultivos, hábitat de numerosas especies de flora y fauna e igualmente favorece al bienestar de las poblaciones que habitan alrededor de ellas (Castro Dousdebés, 2010). Por otro lado, existe un crecimiento de plantas leguminosas aledañas a las palmas formando una cobertura que aporta grandes beneficios, tales como: el mejoramiento de las condiciones físicas y químicas de los suelos, el control de malezas, la sanidad, la nutrición del cultivo, el manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de palma de aceite (Ruiz & Molina, 2014).

La palma de aceite genera una mayor eficiencia fotosintética y recicla grandes cantidades de biomasa permitiéndole que sea autosuficiente nutricionalmente de esta forma disminuyendo el uso de fertilizantes la contaminación de suelos y afluentes aledaños al cultivo (Ocampo Durán, 1999).

La palma de aceite después de cumplir con su ciclo de vida productivo debe ser talada y replantada, sin embargo, esta práctica involucraba la quema de los troncos y el follaje que quedaba, liberando CO₂ a la atmósfera. En la actualidad, se puede preservar el carbono retenido por la palma, gracias a la implementación de prácticas alternas para disponer de estos residuos que no incluyen la quema. De tal manera que los estipes se tumban y se agrupan como barreras en el suelo, con el fin de que el nuevo cultivo se beneficie de la materia orgánica que aportan al descomponerse, haciendo que el CO₂ liberado sea menor y exista retención de materia orgánica en el suelo (Torrado, 2011).

La información sobre el potencial de captura de los sistemas agrícolas es escasa o en algunos casos no se ha documentado, es por esto que se requiere la formulación e implementación de una evaluación donde se obtenga la cuantificación del carbono capturado por la palma de aceite, sirviendo como punto de partida para la elaboración de estudios enfocados en predecir la cantidad almacenada por la biomasa y en la venta de bonos de carbono.

4. Alcance del proyecto

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad evaluar el potencial de captura de carbono por la palma de aceite (*Elaeis* sp), cultivada en la finca Potrero Chico.

Potrero Chico hace parte del Grupo Madre Tierra S. A., empresa dedicada a la producción de aceite de palma. Geográficamente el predio se ubica en el Departamento de Cundinamarca, municipio de Paratebueno, con coordenadas GPS. N4° 20' 45.9" W73° 17' 48.4" (Ubicación de la casa principal). Las colindancias del predio son: la vía a la chaparrera, la Finca Acapulco (ganadera), Vía de Japón (llega a Rancherías), camino ganadero, Hacienda Garagoa (ganadera y con distrito de riego para arroz) y la Finca la Castellana (ganadera y cultivos de piña).

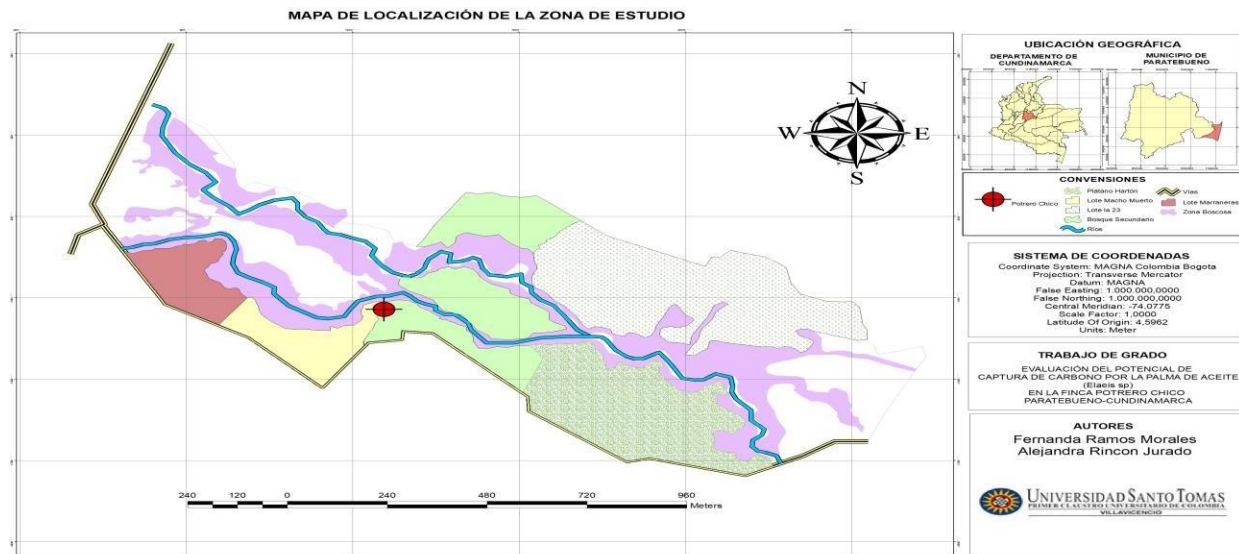


Figura 1. Área de estudio del proyecto, por Ramos & Rincón, 2020.

Potrero Chico cuenta con 247 hectáreas, dentro de las cuales 80 se encuentran sembradas con palma de aceite, distribuidas en tres lotes (Las 23, Las Marraneras y Macho muerto), los cuales presentan diferentes edades de plantación 22, 12 y 14 años, respectivamente.

Esta evaluación tendrá una duración de 8 meses consecutivos durante el periodo de agosto del 2019 – marzo del año 2020.

5. Antecedentes

A finales de los 70's se detectó que el aumento de temperaturas sería causada por el incremento de CO₂, el cual produciría un cambio climático mundial (Compagnucci, 2011). A raíz de esto, se creó el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en 1988, con el fin de analizar de manera científica, técnica y socioeconómica los efectos que estaba causando el cambio climático, provocado por las actividades del hombre (Medina Mateos & Martínez Osés , 2014). Dando importancia años después, a las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero como el CO₂ en la Cumbre de la tierra de Rio de Janeiro en 1992, demostrando que eran un riesgo para el medio ambiente y la salud humana. (Naciones Unidas, 1992). Gracias a esto, mediante la Convención Marco de las Naciones Unidas se empezaron a buscar alternativas que permitieran abordar la problemática del cambio climático con el fin de salvaguardar el medio ambiente. Desde allí, se empezaron a generar investigaciones a lo largo del tiempo.

La mayor parte de los estudios se enfocaron en la función que cumplen los bosques para regular el clima, contribuyendo a la reducción de los efectos del cambio climático producidos por el hombre. Donde, el IPCC señala que, la deforestación de las dos últimas décadas se encuentra sujeta al flujo de CO₂ producido por el cambio de uso del suelo, debido a que en cada una de las partes de la planta como hojas, tronco, ramas y raíces cumple una función muy importante, encargada de fijar y almacenar gran cantidad de carbono, proceso que se ve afectado por la deforestación, ya que este carbono almacenado queda libre y vuelve a la atmósfera, aumentando los niveles de concentración y contribuyendo al cambio climático (Gonzalo Duque, Junio 5 de 2011).

La fijación de carbono, mediante sistemas de uso de la tierra, gira en torno a procesos como la fotosíntesis, la respiración y la descomposición (Montagnini & Nair, 2004). Por lo tanto, la producción agrícola y forestal ha reconocido que las especies vegetales son un medio importante de captura y almacenamiento de carbono, por lo que se estableció como estrategia de mitigación del cambio climático (Nair, Nair, Kumar, & Haile, 2009). Estos sistemas agroforestales tienen un mayor potencial para secuestrar carbono debido a su capacidad percibida para una mayor captura y utilización de los recursos de crecimiento (luz, nutrientes y agua) que los sistemas de pastos o cultivos de una sola especie (Khasa & Chang, 2013).

El potencial de captura de carbono de la palma de aceite está relacionado con el potencial de formación de biomasa de la palma. Mediante la técnica DAP se estimó la biomasa y el carbono absorbido por el cultivo de palma, en donde se encontró que había mayor presencia de carbono en el fuste, seguido de las ramas y luego las raíces (Ramos Escalante, y otros, 2017). Igualmente, a partir de diversos estudios se observó que en palmas maduras su concentración de CO₂ varía enormemente a lo largo del día, en un período de 24 horas, aumentando significativamente durante la noche y disminuyendo rápidamente durante la mañana (Melado Herreros, 2008). Las concentraciones de CO₂ son mayores en períodos de días con baja radiación. También observó que en palmas jóvenes, durante su desarrollo, las concentraciones de CO₂ por la mañana aumentaban gradualmente a la vez que se acumulaba biomasa (Melado Herreros, 2008).

A lo largo de los años la agroindustria de la palma de aceite se ha enfrentado con la necesidad de evaluar los impactos ambientales asociados a sus actividades productivas, particularmente al impacto que este tipo de plantaciones presentan sobre el calentamiento global, al evaluar el balance de carbono aportado por las mismas. Para dar respuesta a esta evidente necesidad se han desarrollado evaluaciones a nivel nacional, las cuales han colaborado con la creación de un modelo que se puede aplicar a la totalidad de una plantación individual o unidades productivas de palma y que se encuentra a una escala adecuada para generar el estudio (Henson & Chang, 2010).

Dicho modelo se aplicó a un cultivo hipotético, el cual pretende establecer una metodología adecuada a implementar en plantaciones reales, con la finalidad de evaluar y estimar el impacto sobre el balance de GEI en diversos escenarios; se describen características, historia del uso del suelo de la plantación a estudiar y emplea presupuestos de carbono, evidenciando el balance neto de carbono para toda la plantación, por hectárea y por tonelada de aceite de palma producido (Henson & Chang, 2010).

Chiapas (México), ha sido reconocido por ocupar el primer puesto en especie y producción de palma de aceite, esto ha permitido dar lugar a la realización de recientes estudios a considerar como alternativa de mitigación para el cambio climático. Entre los años 2016 y 2017 se realizó un estudio, el cual tenía como objetivo principal la medición total del carbono capturado en la biomasa aérea de la planta de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Este estudio se llevó a cabo en tres regiones productoras, al obtener datos significativos se realizó una estadística descriptiva para lograr conocer los valores de biomasa, por otro lado, para conocer la cantidad de carbono capturado se

implementó el método de Walkley y Black modificado por espectrofotometría de UV. A partir de los datos arrojados se generó una ecuación alométrica de estimación de biomasa, así como de la cantidad de carbono a partir de esta, sin embargo, se recomienda evaluar en campo dicho modelo para determinar la confiabilidad de estimación de biomasa y del carbono capturado en condiciones similares a las del estudio realizado (Aranda Arguello, y otros, 2018).

Se halló un estudio en México, el cual consto en un Análisis del ecosistema DiCiFo (Chapingo), con el fin de conocer los efectos y valores del bosque urbano; se estudiaron 152 árboles usando el software i-Tree Eco como herramienta para el procesamiento de los datos. En este análisis se trataron diversos temas, dentro de los cuales se encuentra específicamente el almacenamiento y secuestro de carbono (Rivas, 2018).

Como punto de partida se constata que los árboles ayudan a reducir el carbono expuesto a la atmósfera y que la cantidad almacenada anualmente por parte de los mismos crece exponencialmente conforme aumenta el tamaño y se mantienen buenas condiciones en la salud de los árboles, ayudando a reducir los niveles de calentamiento global *“El secuestro bruto de DiCiFo (Chapingo) árboles es casi 2179 libras del carbono por año con un valor asociado de Mex\$2,77 mil”* (Rivas, 2018).

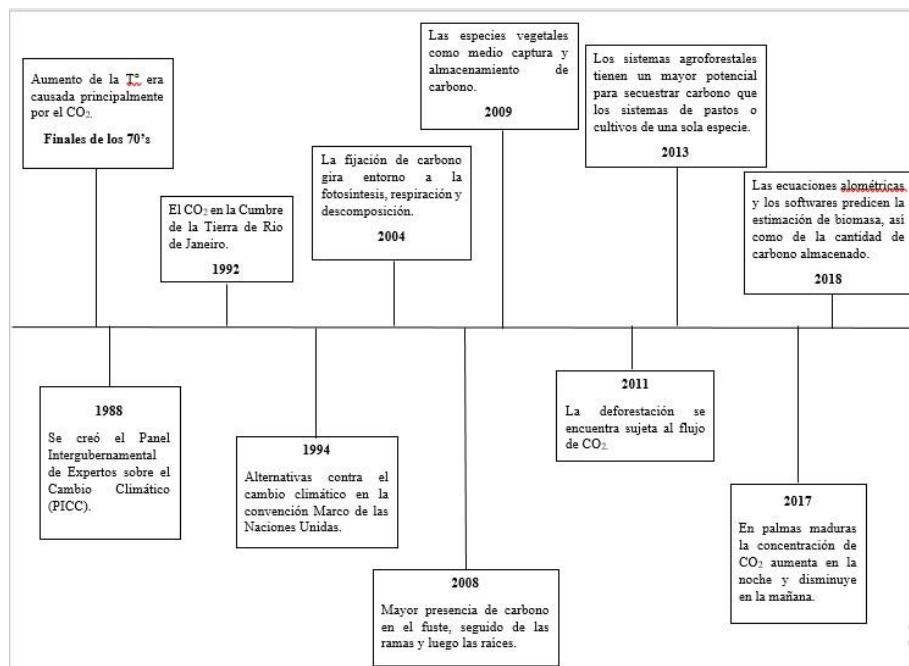


Figura 2. Línea de tiempo-Antecedentes, por Ramos & Rincón, 2020.

6. Marco de referencia

6.1.Marco teórico

Los sistemas agroforestales son un conjunto entre árboles, personas y agricultura que interactúan entre sí, tienen como objetivo demostrar que si existe una influencia ecológica mutua; facilitando el aprovechamiento de los recursos naturales y reduciendo los procesos de degradación de suelos y tierras en Colombia (IDEAM, 2011). Estos sistemas adecuadamente tratados mejoran tanto su productividad como el potencial de secuestro de carbono. Se estima que aproximadamente los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% de flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Toda la vegetación asimila CO₂, capturado e incorporado a los procesos metabólicos del bosque gracias procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca, procesos por los cuales se permite el desarrollo del árbol. La edad de las plantas se convierte en un factor principal que influye en la capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea (Montoya , y otros, 1995). Este servicio ambiental que proveen bosques o selvas como secuestradores de carbono (sumideros) permite equilibrar la concentración de este elemento (Torres & Guevara, 2002).

La palma de aceite tiene un alto potencial para la captura de Carbono, similar a las plantaciones forestales y agroforestales, las cuales alcanzan a almacenar de 40 a 130 toneladas de Carbono, sin embargo, los bosques pueden almacenar hasta 170 t/ha, la selva puede almacenar de 90 a 165 t/ha y los acahuales hasta 280 t/ha (Adger, Brown, Cervigni, & Moran, 1995) (Masera, Bellón, & Segura, 1995) (Torres & Guevara, 2002). De acuerdo a lo anterior mencionado, la Agencia para el Desarrollo internacional (UOAID) estableció que en Colombia había muchas hectáreas de tierra disponibles para la producción del cultivo. Desde allí fue aumentando sus áreas de producción (Adams & Herron, 1965), por lo se destacan las plantaciones de palma de aceite, debido que la mitad de la biomasa aérea es carbono orgánico, por lo que, a mayor cantidad de biomasa, mayor será la cantidad de carbono fijado (González , 2008). Actualmente el cultivo de palma de aceite está distribuido casi por todo el territorio colombiano y su comercialización fue amparada por políticas gubernamentales con el fin de ejecutar tierras agrícolas de abastecimiento.

Uno de los grandes retos de la investigación es poder predecir la cantidad de carbono orgánico que posee una planta, para ello se han desarrollado modelos que simulan el crecimiento y rendimiento de un campo forestal brindando una mayor comprensión de los factores que están involucrados en el proceso de acumulación. Uno de los softwares empleados para realizar la medición de carbono en los árboles de manera individual es I-Tree Eco, que realiza inventarios completos o también en parcelas ubicadas al azar dentro de una misma área de estudio. Mediante este modelo se puede cuantificar la estructura de los bosques, los efectos ambientales y el valor económico que puede brindar a las comunidades; hace uso de carteras de campo, datos meteorológicos y de contaminación atmosférica local por hora para poder lograr la estimación precisada para cada estudio (i-Tree Eco , 2019). Por otro lado, se han generado modelos matemáticos a partir de ecuaciones alométricas para calcular su contenido de carbono; para ello se hace uso de un muestreo destructivo y aleatorizado, evaluando variables como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total, la biomasa y el número de hojas por planta (Castilla, 2004). A partir de lo anterior descrito, se han obtenido predicciones de la acumulación de carbono en árboles y en ciertas palmas, pero en cuanto al cultivo de palma (*Eleais* sp.) aún no se encuentra documentado el uso de este software para su posterior predicción.

6.2.Marco conceptual

El calentamiento global ha ido incrementando considerablemente. Esto se debe a que la mayoría de las actividades realizadas por el hombre generan grandes emisiones de Gases de efecto invernadero, los cuales son compuestos químicos gaseosos que se acumulan en la atmósfera. El dióxido de carbono (CO_2) es el GEI que mayor impacto negativo tiene sobre este fenómeno, debido a que no solo se produce de forma natural, sino que también se derivan de la combustión de la biomasa, cambios en el uso de las tierras y procesos industriales mediante el uso de combustibles fósiles (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

La situación cambia de una u otra manera cuando los bosques y los cultivos agrícolas, contribuyen en el ciclo de absorción y emisión de gases de efecto invernadero y así mismo al calentamiento global; actuando como sumideros de carbono (ASEMFO, 2004). Los cultivos que ofrecen mayor capacidad de almacenamiento de carbono son los leñosos entre ellos está la palma de aceite debido a que se ha extendido en el mundo gracias a su alto potencial productivo debido

a que es un cultivo tropical y oleaginoso debido a que del 50% del contenido su fruto se consigue entre 3000 a 5000 kg de aceite pulpa por hectárea, por esto se considera de alta productividad (Miranda Ruiz, 2012). Es una planta monoica ya que produce flores masculinas y femeninas en la misma planta. Este cultivo tarda de 2 a 4 años para producir frutos los cuales tienen una vida útil hasta de 25 años o más. Se caracteriza por tener un tronco alto de más de 15 m, hojas perennes de 2 a 5 m de largo, muchos foliosos, resistente a sequias y suelos arcillosos y por último, es una planta alógama debido a su polinización cruzada (Navas, 2001).

A partir del gran aprovechamiento y distribución en el cual se ve envuelto este cultivo, fue necesario conocer los beneficios aportados por el mismo a la sociedad y al medio ambiente. Para conocer el potencial de captura y almacenamiento de carbono, se han desarrollado diferentes metodologías tales como las ecuaciones alométricas que se ajustan de acuerdo a la biomasa total de cada árbol resultado obtenido de la relación del peso seco: fresco de cada uno los componentes de la palma (fuste, ramas y follaje), del diámetro del tronco, el estado del árbol, la altura, entre otro parámetros (Ramos, y otros, 2019). Algunos métodos son más destructivos ya que se debe cortar el árbol, pesar sus partes en seco y así sumar cada parte para determinar la cantidad de carbono almacenado, uno de ellos es llamado Walkley and Black se basa en usar técnicas como la oxidación del carbono orgánico, colorimetría, volumetría o espectrofotometría de UV (Ballesteros & García, 2005). Por otro lado tenemos la Fotogrametría aérea de rango cercano mediante drones para la determinación de la biomasa área de un cultivo (Marcos, Sánchez, Docampo, Ortiz, & Martínez, 2016). La creación de modelos y softwares como CO₂FIX, GORCAM, CAMFOR, CARBINE, CO₂LAND, i-Tree Eco y otros; son usados para cuantificar los flujos de carbono en la atmósfera y en los bosques y estimar la cantidad de carbono que llega a fijar una especie forestal, simulando las acciones y los flujos de carbono en los ecosistemas forestales, proporcionando una visión en la dinámica temporal de la retención de carbono (Weissert, Salmond, & Schwendenmann, 2014); cabe resaltar que i-Tree Eco fundamenta el ciclo del carbono e integra el crecimiento anual y las tasas de pérdida de las principales combinaciones de biomasa de cada una de las partes del árbol.

Dentro de las medidas de mitigación que están orientadas a reducir los impactos ambientales significativos, se encuentra el proceso de captura de carbono, el cual consistente en la separación del CO₂ emitido por la industria y actividades relacionadas con la generación de energía en los procesos de combustión y su transporte a un lugar de almacenamiento geológico para aislarlo de

la atmósfera a largo plazo, como lo es en este caso el cultivo de palma de aceite. Una vez que el CO₂ es asociado por las plantas mediante la fotosíntesis, éste se redistribuye por las diferentes partes de la planta para que el árbol pueda desarrollarse en óptimas condiciones (Benjamín Ordóñez, 2001).

La capacidad de fijación de carbono depende de variables como la edad de la plantación, del crecimiento y de la madurez de los cultivos, debido a que, a mayor edad, se obtienen cultivos con dimensiones de biomasa significativos, lo cual favorece la captura de carbono (Camargo, Rodríguez, & Arango, 1994). Seguido de este proceso de captura y almacenamiento de carbón mediante la biomasa de las plantas se presenta la disposición del CO₂ transformado a oxígeno por procesos internos de las plantas, es ahí donde el pago de servicios ambientales por fijación y almacenamiento de este representa una alternativa para dar valor agregado a la producción, que podría tener un gran potencial e importancia para los productores (Ávila, Jiménez, Beer, Gómez, & Ibrahim, 2001).

i-Tree es un conjunto de herramientas diseñadas por el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América para cuantificar los servicios ambientales que proporcionan los árboles y su valor. - iTree Eco es la herramienta principal de este software y la que fue empleada para el desarrollo del estudio, debido a que cuenta con información necesaria y proporciona estimaciones de almacenamiento y captura de carbono (Martinez, 2019), siendo este el tema central de estudio.

Debido a que estos pueden comercializar con bonos de carbono, ya que el objetivo principal de estos es ayudar a disminuir los gases de efecto invernadero, principalmente en los países más contaminantes, es decir, en los industrializados. Cada país tiene una cuota de GEI por cumplir y si la rebasa, puede reducirla comprando bonos de carbono a otros países menos contaminantes. A nivel empresarial también funciona esta dinámica, cuando una empresa supera su límite de emisión puede reducir sus gases contaminantes comprando bonos de carbono a una empresa que está interesada en vender su cuota (Mendez, 2014).

6.3.Marco Legal

Tabla 1. Normatividad ambiental que rige el sector palmero.

Normatividad	Aplicación	Observaciones
Constitución política de Colombia 1991	Artículo 8	Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.
	Artículo 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
	Artículo 80	El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

Tabla 1. Continuación

Ley 99 de 1993	Numerales 11 y 14 del artículo 5	Son funciones de este Ministerio dictar regulaciones de carácter general para controlar y reducir la contaminación atmosférica en todo el territorio nacional; y definir y regular los instrumentos administrativos y los mecanismos necesarios para la prevención y control de los factores de deterioro ambiental.
	Numeral 2 del artículo 65	Corresponde a los municipios, dictar las normas necesarias para el control, la preservación y la defensa del patrimonio ecológico.
Ley 822 de 2003	Se dictan las normas acerca del registro y control de los agroquímicos genéricos usados, para minimizar los riesgos de la salud humana y su impacto en el medio ambiente.	
Decreto 2811 de 1974	Artículos 50 y siguientes	El uso de recursos naturales renovables de dominio público puede ser adquirido por medio de permisos o autorizaciones.
Decreto 1541 de 1978	Se establecen los permisos de concesiones de agua y su respectiva norma para diferentes usos; de tal forma poder asegurar su preservación cuantitativa para garantizar la disponibilidad permanente del recurso.	
Decreto 1791 de 1996	Por el cual se dictan normas sobre manejo, uso y aprovechamiento de bosques y se establecen el régimen de aprovechamiento forestal con el fin de lograr un desarrollo sostenible.	
Resolución 610 de 2010	Se establece la norma de calidad del aire, con el propósito de garantizar un ambiente sano y minimizar los riesgos sobre la salud humana que puedan ser causados por la concentración de contaminantes en el aire ambiente, establece los niveles permisibles de los contaminantes atmosféricos y las obligaciones de las autoridades ambientales.	

Tabla 1. Continuación

Resolución 2254 de 2017	Se establece la norma de calidad del aire y se adoptan disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera.
Resolución 909 de 2008	Establece las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas, adopta los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias.
Resolución 2009 del 2014	Establecen los requisitos para el registro ante el ICA de los predios productores de palma de aceite.
Resolución ICA 2183 de 2015	Con lo cual se concede, suspende o cancela registros de los entes territoriales; para velar por la sanidad agropecuaria del país a fin de prevenir la introducción y propagación de plagas y enfermedades que puedan afectar las especies agrícolas y forestales.
Resolución ICA 4170 del 2014	Por lo cual se declaran las plagas de control oficial en el cultivo de palma de aceite en el territorio nacional y establecer la medidas fitosanitarias para su manejo y control.

Nota: Descripción de la normatividad competente aplicada al sector palmero regida en Colombia, por Ramos & Rincón, 2020.

7. Metodología

Para la realización del presente trabajo de investigación, se hace uso de una metodología cuantitativa y cualitativa descriptiva, con la finalidad de satisfacer el enfoque de los objetivos de este estudio. Requiere de una revisión literaria preliminar, así como la toma de variables en campo para realizar la estimación de captura de CO₂. La búsqueda de información secundaria es necesaria para soportar el estudio, lo cual se logra al recolectar la información a partir de fuentes bibliográficas constatadas por instituciones públicas. Los resultados esperados en este estudio son de carácter cuantitativo tratándose de la estimación de carbono anual y adopta una posición cualitativa descriptiva al momento de realizar la caracterización de la zona de estudio, proporcionando un enfoque más claro y conciso de lo que se puede esperar con esta investigación.

El desarrollo del estudio se compone de tres fases:

7.1. Fase 1. Caracterización de las condiciones edafoclimáticas y los procesos productivos en la zona de estudio.

En esta primera fase se recopiló toda la información necesaria acerca del cultivo; inicialmente se implementaron los lineamientos establecidos en Rapid Soil and Terrain Assessment (RASTA) (Álvarez, Cock, & Estrada, 2010), la cual es una guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno, teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Características del suelo del cultivo de palma de aceite.

Características y Observaciones						
Lote:						
Muestra	Capas y Horizontes	Color Seco	Color Húmedo	Textura	Resistencia al rompimiento	pH
Carbonatos	No tiene	Bajos o Muy bajos	Medios	Altos	Profundidad (cm):	

Nota: Datos tomados para realizar la caracterización del suelo, adaptado de (Álvarez, Cock, & Estrada, 2010).

La información del histórico de datos y de los procesos productivos que se llevan a cabo en el cultivo fue proporcionada por el dueño del predio (Rodrigo Echeverri); de igual forma se realizó

un recorrido asistido por el predio, con el fin de hacer un adecuado reconocimiento de la zona previo al trabajo de campo. Potrero Chico cuenta con tres lotes correspondientes a cultivos de palma de aceite (Las 23, La Marranera y Macho muerto), los cuales presentan diversidad de edades de plantación como se representa en la **Tabla 3**, para esto se tomó una hectárea como área total de estudio, la cual está compuesta por tres partes diferentes correspondientes a cada lote. Por otro lado, para realizar una detallada caracterización climatológica de la zona de estudio se necesitó hacer uso de las fuentes de información de instituciones académicas que se encargan del manejo y la investigación de información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente, como el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) a partir del cual se recopiló información sobre los promedios climatológicos del año 1981 al 2010 de la estación JAPÓN EL, ubicada en el municipio de Paratebueno-Cundinamarca con coordenadas (Longitud 73°18'4.7'W y Latitud 4°22'37.1'N). De la información suministrada se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: Precipitación (mm), temperatura media (°C), temperatura máxima media (°C), temperatura mínima media (°C), brillo solar (horas/día), humedad relativa (%), evaporación (mm) y evapotranspiración potencial (mm); a estas variables les fueron determinadas las medidas de centralidad que indican alrededor de que valor se encuentran los datos como: moda, media, mediana, rango, varianza y desviación estándar (Fernandez, 1996); y de dispersión que indican como están agrupados los valores en torno a un punto central con el fin de realizar un detallado análisis (Gómez & Medina, 2012). Se debe tener en cuenta que en la mayoría de registros climatológicos presentan faltantes de información debido a una falla del instrumento, ausencia de lectura o un error de transcripción, etc.; limitando su análisis y generando una fuente de error. De acuerdo a lo anterior mencionado, el IDEAM desarrolla técnicas estadísticas para el relleno de los datos faltantes, utilizando el método de las proporciones y la razón de valores normales (Montealegre, 1990).

Tabla 3. Cantidad de individuos de palma de aceite en una hectárea con su correspondiente edad de plantación.

POTRERO CHICO			
Lote:	Las Marraneras	Macho Muerto	Las 23
Edad	12 años	14 años	22 años
N° de palmas	33	48	62

Nota: Organización de una hectárea del cultivo de palma de aceite por lote, edad de plantación y número de palmas, por Ramos y Rincón, 2020.

7.1.Fase 2. Estimación del potencial de captura.

La cantidad de CO₂ almacenado en los árboles en general depende de la especie del árbol, características taxonómicas, condiciones ambientales de crecimiento y la edad. Para el propósito de esta investigación se tomó únicamente la especie de palma (*Elaeis* sp) y se implementó el Software i-Tree Eco y las ecuaciones alométricas dadas por el IDEAM; mediante estas mismas se arroja una estimación del potencial de fijación de CO₂ para palma de aceite.

7.1.1. Estimación del potencial de captura mediante i-Tree Eco

Mediante este software fue posible analizar las variables recolectadas en campo, correspondientes a una hectárea del cultivo, lo cual, es equivalente a 143 individuos de palma de aceite, repartido en tres edades de plantación diferentes. Variables como la altura del árbol, la Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP) y el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP). Es necesario estudiar estas variables debido a que permite establecer una determinación indirecta del volumen, la biomasa y el carbono fijado específicamente por esta especie. Adicionalmente, se analizó la salud del árbol y la incidencia solar mediante códigos establecidos por i-Tree Eco. Lo cual proporciona un acercamiento a las condiciones en las que se encuentra el cultivo de palma.

Por consiguiente, para poder desarrollar esta fase del estudio, se escogió un método no destructivo para la determinación de la biomasa aérea en los tres lotes. Se tuvieron en cuenta las variables descritas a continuación:

- i. Año de establecimiento de la palma (edad): Proporcionado por el histórico de datos del cultivo, ver **Tabla 3**.
- ii. Diámetro de altura de pecho (DAP): Se determinó por medio de una cinta métrica, midiendo la circunferencia a una altura de 1.3 m. El valor obtenido se dividió por π , obteniendo el DAP (Yepes A, y otros, 2011).
- iii. Altura total: Se determinó por medio del Hipsómetro Láser marca Nikon Foresty Pro (Nikon, 2019).

- iv. Número de hojas: Se determinó de acuerdo con la organización foliar de la palma, es decir, hacia dónde va la Filotaxia de la palma si es derecha o izquierda se establece la nomenclatura de las hojas (Hormaza, Forero, Ruiz, & Romero , 2010).
- v. Salud de la copa (%): El estado de la copa se da en porcentaje dependiendo de la cantidad de ramas muertas que presente. En el **Anexo E**, se identifican los parámetros para dar el porcentaje.
- vi. Exposición solar: se determinó mediante la cantidad de lados que recibe la luz solar la palma. Para ello, el software i-Tree Eco otorga los siguientes códigos:

Tabla 4. Códigos para determinar la exposición solar de los individuos.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
-1	Árbol muerto
0	El árbol no recibe ninguna luz plena, ya que le da la sombra de otros árboles u otra vegetación.
1	El árbol recibe luz plena desde la parte superior o de un lateral
2	El árbol recibe luz plena desde la parte superior y un lateral (o 2 lados)
3	El árbol recibe luz plena desde a parte superior y 2 lados (o 3 lados)
4	El árbol recibe luz plena desde la parte superior y 3 lados
5	El árbol recibe luz plena desde la parte superior y 4 lados

Nota: Códigos de exposición solar de los individuos forestales, adaptado de i-Tree Eco manual de toma de datos, 2016.

- vii. Localización geográfica: se obtuvo haciendo uso de un GPS.
- viii. Uso del suelo: se determinó considerando la clasificación establecida por el software i-Tree Eco.

Las variables anteriormente descritas se aplicaron a un tamaño de población representativo de manera aleatoria, que se determinó con la siguiente formula:

Ecuación 1. Fórmula de cálculo de población finita.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{(N - 1) * E^2 + Z^2 * p * q}$$

Siendo,

- N = Total de la población

- $Z = 1,96$ al cuadrado (si la seguridad es del 95%)
- p = Probabilidad a favor (en este caso 50% = 0,5)
- q = Probabilidad en contra (en este caso 50% = 0,5)
- E = Error muestral (cuyo criterio obedece a la variación natural existente entre las muestras tomadas de la misma población, a saber: edad de la palma, DAP, Altura total, Número de hojas, entre otros)

$$n = \frac{143 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{(143 - 1) * 0,05^2 + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} = 105 \text{ muestras}$$

7.1.2. Estimación del potencial de captura mediante Ecuaciones alométricas

Para el desarrollo del estudio, se escogió una ecuación alométrica realizada por el IDEAM en el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia, en donde se tiene en cuenta la zona de vida y tres variables independientes como la altura total, DAP y p la densidad básica de la madera, en este caso el contenido de biomasa cambia en contraste con los árboles, y se seleccionó la ecuación de acuerdo a que el contenido de biomasa en palmas se predice más por la altura (Kirby & Potvin, 2007), siendo la altura total su única variable (Yepes A, y otros, 2011) y en cuanto a la zona de vida corresponde a un bosque húmedo tropical (bh-T), por las condiciones que presenta teniendo la temperatura que oscila entre 20°C a 34°C en el que se puede predecir el desarrollo de las plantas y animales, la probabilidad de lluvia varía extremadamente durante el año con una acumulación promedio que fluctúa entre 200 mm a 4000 mm y la duración del día no varía considerablemente durante el año, oscila entre 20 min a 30 min de las 12 horas (Cadavid, Carlos, Góez , Machado, & Gómez , 2005); (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2019).

Ecuación 2. Biomasa aérea para palmas.

$$BA = \exp[0,360 + 1,218 \ln H]$$

Siendo,

- BA: Biomasa aérea en kg
- H: Altura en m

La estimación indirecta del contenido de carbono se determinó a partir de la biomasa aérea, se considera que la biomasa contiene 50% carbono; por tanto, el valor obtenido de las ecuaciones alométricas se multiplica por 0.5 y con el contenido de carbono se determinó la fijación de CO₂ equivalente teniendo en cuenta el factor de $44/12=3,67$ (es el resultado de dividir el peso atómico de una molécula de CO₂ por el peso específico del Carbono) por último, se multiplicó por 3,67 kg (Yepes, y otros, 2011).

7.2.Fase 3. Planteamiento de estrategias de mitigación en cultivos de palma de aceite.

En esta fase se tuvieron en cuenta los resultados de la estimación de captura de Carbono por la palma de aceite y las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) establecidas por algunas instituciones gubernamentales e instituciones privadas. Por consiguiente, se seleccionaron de manera objetiva aquellas BPA que no acarreen un impacto negativo potencial sobre el ambiente o los ecosistemas circundantes; finalmente se enuncian teniendo en cuenta las condiciones específicas de los tres lotes de estudio. Con el fin de maximizar el potencial de captura de carbono por parte del cultivo de palma de aceite (*Elaeis* sp), y así mismo poder contribuir a la reducción de dióxido de carbono emitido a la atmósfera.

8. Desarrollo central

8.1.Fase 1. Condiciones edafoclimáticas y los procesos productivos en la zona de estudio.

La importancia de los datos edafoclimáticos radica en que ofrecen patrones técnicos que permiten realizar un diagnóstico acerca de si las condiciones del terreno como del clima son óptimas para el cultivo de la palma y para su desarrollo saludable. Para que la palma cumpla tanto con su función natural de captación de carbono, como para que su fruto sea de buena calidad para la industria aceitera es necesario que las condiciones edafoclimáticas cumplan los requerimientos estandarizados para su cultivo. Por lo anterior en este apartado se estudian las condiciones edafoclimáticas del terreno.

Potrero Chico, cuenta con 247 ha, las cuales produce fruto de palma de aceite y ha comenzado la siembra de plátano hartón; y mantienen bosques secundarios como resultado de procesos de sucesión natural. El cultivo de palma cuenta con siembras que van desde el año 1998 al 2008, por lo que actualmente se realizan actividades de erradicación en los lotes más antiguos, no se tiene proyectado realizar renovación del cultivo, el objetivo del productor es reemplazar la palma por otro tipo de cultivo como es el plátano hartón.

En cuanto a la sanidad vegetal actualmente se realizan censos de plagas y enfermedades utilizando el software Cyber Tracker, estos se realizan una vez al mes. Existen reportes de anillo rojo, una vez identificada la palma se realiza su erradicación, actualmente las observaciones de esta enfermedad son bajas. También se ha presentado la pudrición de cogollo (PC), a la cual no se realiza tratamiento ni cirugía. El manejo de *Rhynchophorus palmarum* se realiza a través de veintitrés trampas según la resolución ICA que cuenta con su respectiva feromona y atrayente biológico; la feromona se cambia cada tres meses y las lecturas se realizan cada quince días.

Con respecto al mantenimiento, las calles de cosecha y palera cuentan con vegetación nativa de especies hoja ancha y algunas gramíneas, cuando su porte es alto y dificulta las demás labores, se realiza un control mecánico utilizando un pase de rolo. El propietario expresa que, como consecuencia, se disparan las plagas, pero estas suelen desaparecer de manera natural al volver a crecer la vegetación en pocos meses.

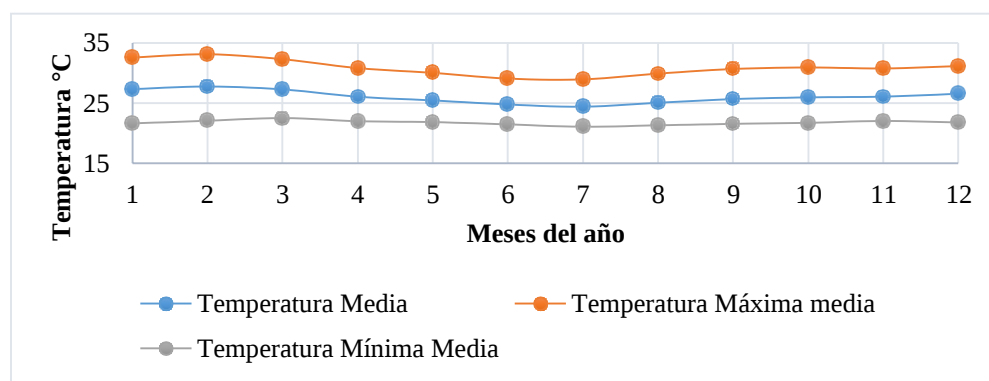
Los plateos de la palma son realizados de manera química con el uso de productos herbicidas como el glifosato, en dosis de 1,5 L por hectárea, esta labor se realiza dos veces al año.

La fertilización se realiza de forma mecánica, con voleadora, utilizando productos de síntesis química en dosis de 4 Kg por palma, fraccionada en dos aplicaciones durante el año; y los productos utilizados son KCL, DAP, y boro 50 gr/palma. Actualmente no se realizan análisis foliares. Se realiza una poda al año, teniendo como criterio dejar dos hojas al racimo verde y una hoja al racimo maduro o pintón. Se realiza riego solo a la mitad de la plantación, el mantenimiento de canales se realiza de forma natural y química; cuentan con concesión de agua de 260lt/seg.

Por último, la cosecha se realiza en ciclos entre doce y quince días, sin embargo, en periodos de invierno, este puede sufrir modificaciones. El fruto se recoge de manera manual y es transportado por tractores al centro de acopio donde, posteriormente se recoge por un contratista de transporte y se lleva a la planta de beneficio de Hacienda la Cabaña S.A. Se realiza polinización en la siembra 2008, para esta labor se utilizan dos personas y el polen es comprado.

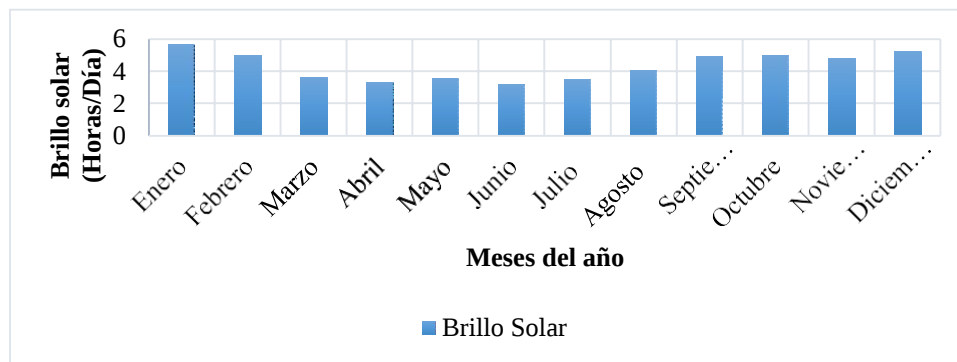
La productividad del cultivo de palma de aceite se encuentra condicionada a la tasa de fotosíntesis alcanzada, la cual, está determinada por las condiciones climáticas y del suelo que posea el lugar de plantación, todo esto en combinación con las características genéticas del material de siembra (Munévar M, 2004). Las condiciones climáticas del cultivo de palma de aceite son propiedades importantes que influyen en el crecimiento de las plantas y la formación de suelos (FAO 1978). Es por esto que se presentan la condiciones edafoclimáticas de la zona de estudio.

Paratebueno se encuentra ubicado en la región de la Orinoquía, por lo que presenta una clasificación climática Caldas-Lang de clima Cálido Húmedo (CH) y las siguientes características:



Gráfica 1. Promedios anuales de Temperatura (°C) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca. Por Ramos & Rincón, 2020.

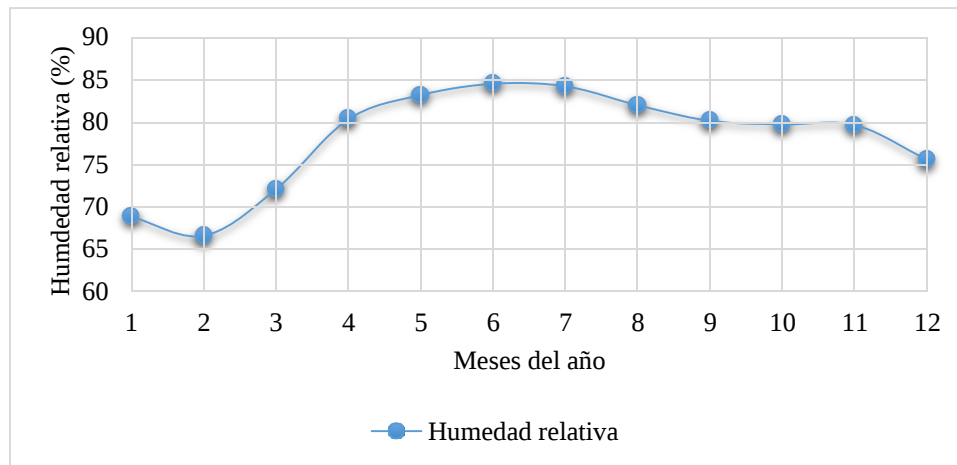
Como se evidencia en la **Gráfica 1**, Paratebueno presenta una temperatura media anual de 26,1°C, encontrándose dentro del rango ideal del cultivo de palma de aceite que corresponde a una temperatura media anual entre 22°C a 32°C, este factor es importante debido a que determina el crecimiento y la producción del cultivo de palma (IICA, 2016). Cabe resaltar que, si se presentan temperaturas menores a 18°C afecta el crecimiento de la palma y la maduración del fruto; Y si se presentan temperaturas mayores a 38°C se produce el cierre de las estomas y posteriormente disminuye su fotosíntesis (Raygada, 2005). Se presentan valores máximos que corresponden a una temporada calurosa, se encuentran en los meses de enero, febrero y marzo con valores correspondientes a 27°C, cabe resaltar que son valores que no sobrepasan los 30°C y coinciden con la temporada seca a principio de año y descienden; en cuanto a los valores mínimos que corresponden a la temporada fresca, no bajan a más de 20°C se presentan en los meses de junio, julio y agosto con valores promedio de 21,3°C, que corresponde a la temporada de lluvias.



Gráfica 2. Promedios anuales de Brillo Solar (Horas/Día) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca. Por Ramos & Rincón, 2020.

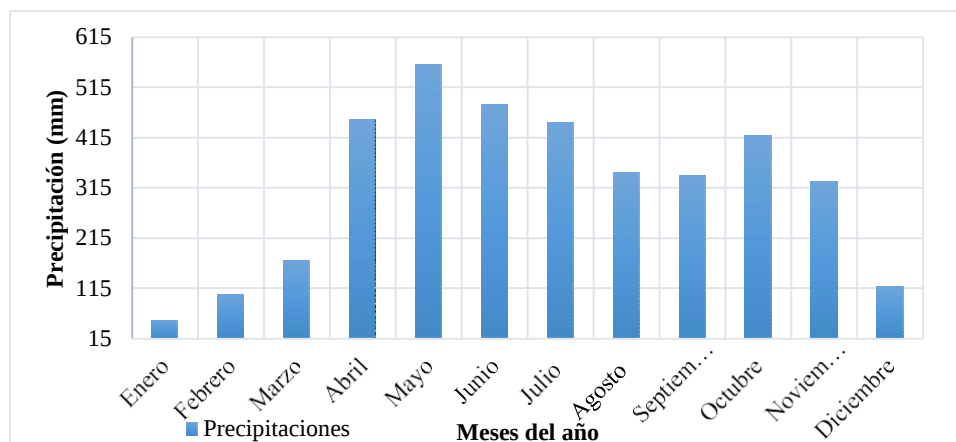
En la **Gráfica 2**, permite observar las variaciones del brillo solar a lo largo de los años. Se presenta un registro medio de horas de brillo solar de 4,3h/día acercándose al valor ideal que requiere el cultivo de palma de aceite. Durante los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero se encuentran los registros más altos de horas de brillo solar, siendo enero el mes de mayor recepción de energía correspondiente a 5,64h/día. En contraposición, se observa un descenso de las horas de brillo solar en los meses de marzo, abril, mayo, junio y julio; siendo junio el mes con menor recepción de con 3,1h/día. Se observa que el mes de junio se relaciona con el valor máximo de días de lluvia.

Uno de los parámetros climatológicos más importante de la zona palmera es la radicación solar, debido a que trabaja aún bajo escenarios de sombra cuando las nubes obstaculizan el brillo solar; igualmente, porque la radiación corresponde a la energía que la palma usa para la fotosíntesis. Pero cuando ya es muy baja la fijación de CO₂ por parte de las hojas es casi nula (Melado H, 2008). La radiación solar ideal del cultivo de palma se encuentra entre 1500hra/año a 2000hra/año, 5 horas por día. Es uno de las condiciones más importantes ya que determinan el crecimiento de las plantas y modifican el microclima dentro de las mismas. De acuerdo, a la cantidad y calidad de la radiación fotosintética activa se determina la edad, la altura y la filotaxia de la hoja de la palma (Corley & Tinker, 2003), si se reduce la intensidad lumínica se disminuye el potencial fotosintético afectando la fijación de CO₂ (IICA, 2016).



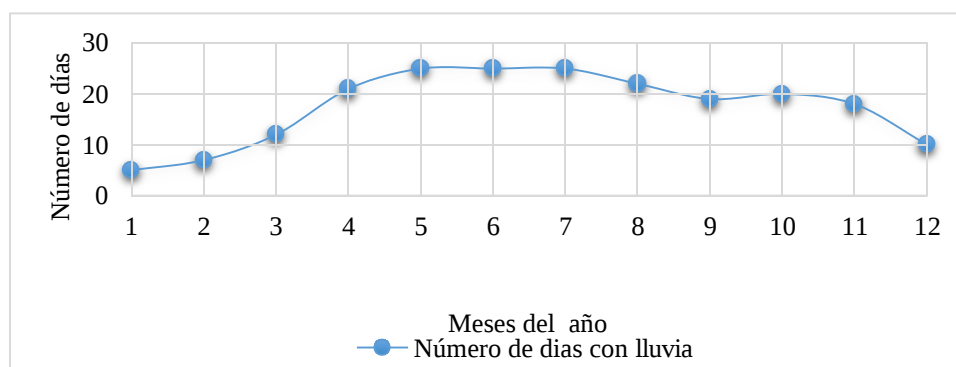
Gráfica 3. Promedios anuales de Humedad Relativa (%) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca. Por Ramos & Rincón, 2020.

En la **Gráfica 3**, de acuerdo con Turner y Gillbanks (2013) la humedad relativa es uno de los factores climáticos es uno de los que se debe tener en cuenta (Turner & Gillbanks, 2013) por otro lado Paramanathan (2003) en Munévar (2014) propone los valores de parámetros climáticos que permiten altos rendimientos potenciales en el cultivo de la palma de aceite a saber 75 a 85 % (Munéva, 2014). En este sentido el comportamiento de la humedad relativa del municipio de Paratebueno oscila entre el 66,6% y 84,8%, con un promedio de humedad relativa de 78%. En el cual se presentan picos máximos desde mes de marzo hasta septiembre con un valor mayor del 80%, siendo el periodo más húmedo del año representando el mes de junio con un valor máximo de humedad relativa de 84,5%. En cuanto al periodo seco del año se presentan los valores mínimos en los meses de enero y febrero con un valor menor del 69%, siendo febrero el mes que representa el valor mínimo con un 66%.



Gráfica 4. Promedios anuales de Precipitación (mm) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca. Por Ramos & Rincón, 2020.

Del mismo modo Paramanathan (2003) en Munévar (2014), expone que la precipitación pluvial es uno de los factores climáticos más relacionados con la productividad de la palma de aceite, su investigación indica que la precipitación anual positiva para la productividad debe estar entre 2.000 a 2.500 mm. Siendo este factor importante, la **Gráfica 4**, muestra el promedio de lluvia total anual es de 3753,2 mm, presentando una precipitación anual media de 317,83 mm. A lo largo del año se logra observar un comportamiento monomodal, es decir, la presencia del periodo seco y húmedo al año en la zona. El periodo húmedo se encuentra comprendido entre los meses de abril a noviembre, siendo mayo el mes que mayores niveles de precipitación evidencia con 560 mm con una frecuencia de días lluviosos de 21 a 25 **Gráfica 5**;



Gráfica 5. Promedios anuales del número de días de lluvia del municipio de Paratebueno-Cundinamarca. Por Ramos & Rincón, 2020.

y el periodo seco de diciembre a febrero, donde enero es el mes con mayor presencia de sequía con 51,6 mm en la zona de estudio. El mes de marzo se localiza entre el periodo seco y el húmedo con un volumen de lluvias de 170 mm. Por otro lado, siendo enero el mes que registro menor cantidad de días con lluvia, y los meses mayo, junio y julio quienes registran mayor intensidad de días con lluvia del año. Las precipitaciones anuales ideales del cultivo de palma de aceite se encuentran entre los 1700 mm a los 2000 mm, bien distribuidos durante todo el año. Al menos, 100 mm al mes (GOH, 2000). Pero la zona de estudio presenta una intensidad de lluvias anual mayor al rango ideal, superándolo por 1753 mm y no se distribuyen racionalmente todos los meses por lo que pueden presentar épocas de déficits hídricos. Cabe resaltar que es un factor importante ya que las necesidades de agua de la palma varían de acuerdo a los niveles de evapotranspiración y si esta es menor, el cultivo se prorrogará o acabará su actividad vegetativa y productiva por falta de la misma (IICA, 2016).

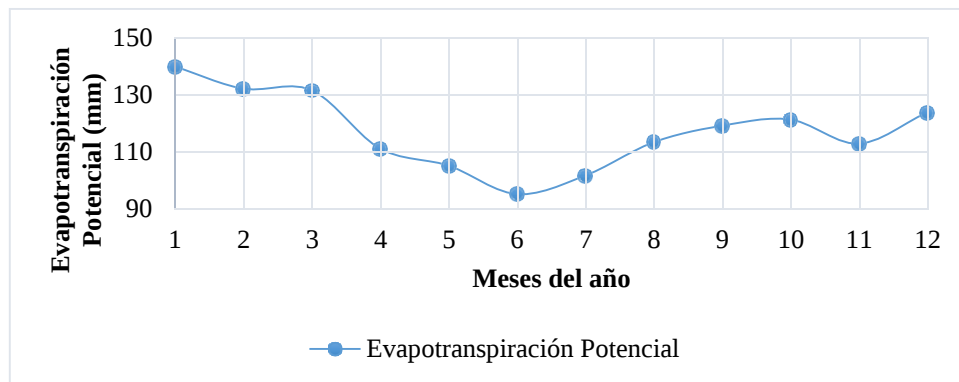


Gráfica 6. Promedios anuales de Evaporación (mm) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca. Por Ramos & Rincón, 2020.

Como se indicó anteriormente los requerimientos estándar de agua para el cultivo efectivo de la palma de aceite deben estar entre 1800 y 2200 mm los cuales deben estar debidamente distribuidos a lo largo del año lo que requiere un promedio de 150 o 50 mm de lluvia cada diez días. La disponibilidad de dicha humedad para las palmas de aceite, requiere de factores básicos entre los que se encuentra la evaporación.

La evaporación promedio anual reporta un valor de 119,52 mm. En la mayor parte del año los valores fluctúan entre 100 y 150 mm, a excepción de los meses de junio y julio que disminuyen a

92,7 y 97,5 mm respectivamente; estos cambios se encuentran influenciados en algunos casos por factores como el tipo de suelo y varía de manera proporcional a la temperatura, esto quiere decir, que para los meses más cálidos la evaporación aumenta y viceversa en las temporadas frías, lo anterior es consistente con las características climatológicas de evaporación en la región de la Orinoquia.



Gráfica 7. Promedios anuales de Evapotranspiración Potencial (mm) del municipio de Paratebueno-Cundinamarca. Por Ramos & Rincón, 2020.

La evapotranspiración potencial promedio anual reporta un valor de 117,33 mm. En la mayor parte del año los valores fluctúan entre 90 y 150 mm. Se observa en la **Gráfica 7**, el mes que represento un mayor valor fue Enero con 140 mm, en comparación al mes de junio que disminuyó su valor a 95,2 mm. Se observan bajos índices de evapotranspiración que las convierte en importantes ecosistemas reguladores de agua.

En el **Anexo F**, se resaltan las variables climatológicas con sus respectivos rangos óptimos, dentro de las cuales se destaca la temperatura, precipitación, humedad relativa y brillo solar como las más significativas al momento de realizar la fijación de CO₂ en las plantas, debido a que inciden directamente en este proceso, por tal motivo, se menciona que a medida que se incrementa la temperatura o alcanza niveles altos, la fijación CO₂ disminuye directamente, sin embargo, se debe tener en cuenta que a esto se le suma la variabilidad del clima; el déficit o exceso en la precipitación y humedad relativa son reguladores térmicos en estos casos. En el cultivo de palma estudiado se cumple con los rangos de temperatura óptima en todos los meses del año, lo que indica que no existieron bajas en la fijación derivadas de esta variable.

Por otro lado, el brillo solar es de gran importancia ya que es la ruta principal para la realización de la fotosíntesis; proceso por el cual se genera el desarrollo, crecimiento y se fija el carbono en la biomasa de las plantas, minimizando los efectos del cambio climático. La fotosíntesis se presenta en dos fases, en la primera fase (luz), se requiere la incidencia directa de la luz para generar energía, la cual será utilizada en la segunda fase (oscura), como fuente energética para reducir el CO_2 y producir glucosa; en el caso del cultivo estudiado solo el mes de enero cumple con el rango óptimo de brillo solar con 5,64491239 h/día, seguido por el mes de diciembre con 5,24431746 h/día; meses como febrero, agosto, septiembre, octubre y noviembre están en rangos no muy alejados del óptimo.

La precipitación en la zona de estudio muestra una variabilidad significativa a lo largo del año, en el mes de enero presenta los niveles más bajos con precipitaciones de 51,6033333 mm, en el cual se presenta un déficit pluvial para alcanzar el rango óptimo, seguido de febrero 102,46 mm, diciembre 119,365517 mm y marzo 170,773333 mm; meses en los cuales si se cumple con el rango pertinente de niveles de precipitación para un buen desarrollo en cultivo de palma, por el contrario, el resto de los meses presenta precipitaciones superiores generando un exceso pluvial, lo cual conlleva a inundaciones en cultivo, según la permeabilidad y pendiente del terreno. Frente a esta variable fue posible observar en las visitas realizadas, que el lote Las 23 en esos meses permanecía encharcado, al igual que Las Marraneras, pero en menor proporción, rasgo que no se evidencio en Macho Muerto, según lo cual es posible indicar que existen meses donde los rangos no son los apropiados para el desarrollo recomendado del cultivo, ya sea por exceso o déficit que presenten las variables.

Se resalta que el mes de diciembre cumple con la mayoría de los rangos óptimos encontrados y por consiguiente es el mes donde existen las mejores condiciones en el cultivo, lo cual favorece la fijación de CO_2 en el mismo. A pesar de que no todos los meses cumplen a cabalidad las condiciones climáticas, es importante recalcar que las demás variables no están alejadas de lo requerido por el cultivo y mencionar que las variables de temperatura media, humedad relativa y evapotranspiración potencial se cumplen en todos o en la mayoría de los meses estudiados. En cuanto a la cantidad de días con lluvia mensuales se suple el déficit presentado en meses como enero y febrero con riego moderado y en periodos de exceso, como los que se presentaron en los

siguientes meses a excepción de diciembre se realiza riego por inundación según lo establecido en el manejo del cultivo.

Así como el clima es determinante en la productividad del cultivo de palma de aceite, igualmente lo son sus suelos. Los suelos son afectados por las actividades humanas, como la industria, la municipal, y la agrícola, que a menudo resulta en la degradación del suelo y pérdida o reducción de sus funciones. Para conocer las condiciones en la que se encuentra actualmente la Finca Potrero Chico se desarrolló la guía RASTA (Álvarez, Cock, & Estrada, 2010), caracterizando cada una de sus propiedades, teniendo en cuenta, la influencia de las características del paisaje en ellas. Cabe resaltar que el uso actual de la tierra de la finca es arable debido a que se siembran Palma de Aceite y Plátano, también se encuentra en sus alrededores un bosque secundario. Desde hace tiempo el predio ha pasado por diferentes cambios por lo que se consultó acerca de su pasado hasta el presente; durante el transcurso del tiempo se ha manejado en el predio ganadería extensiva, plátano, arroz y palma de aceite; estos cambios en el uso del suelo han generado procesos erosivos laminares, sobretodo en el momento en que se realizaban cultivos de arroz, lo cual conllevó a que, en algunas zonas del predio, se expusiera la roca y se perdiera la capa arable. Estos terrenos, junto a los de la ganadería extensiva, se dejaron recuperar y de manera natural la sucesión permitió la regeneración de los bosques donde se han logrado árboles de gran porte, no obstante, en el momento en que notan que un árbol está a punto de desplomarse, este es talado y su madera aprovechada, lo que ha permitido la generación de claros que luego son nuevamente cubiertos por vegetación nativa, obteniendo bosques entresacados sostenibles lo cual es objetivo de la conservación. El terreno del cultivo es plano con ondulaciones ya que presentan gradientes menores al 10%, se encontraron dos horizontes en el perfil del suelo de los tres lotes, diferenciándolas una de la otra por el color, la textura o la pedregosidad.

- Caracterización del suelo en el Lote Las 23: actualmente tiene una edad de plantación de 22 años y es el lote más grande del predio, en él se halló dos horizontes (A y B) con un espesor de 25 y 30 cm respectivamente. Se determina que el estado de humedad del suelo es húmedo, posee un pH de 5,028 y temperatura de 29,5°C, además presenta una textura arcillosa en ambos horizontes, sin embargo, el horizonte A presenta un color pardo (17) el cual es indicativo de niveles medios o bajos de materia orgánica y de gran variabilidad en la fertilidad del suelo (Crosara, 2002), (Álvarez, Cock, & Estrada, 2010),

también se clasifico su resistencia al rompimiento como firme (Álvarez, Cock, & Estrada, 2010), por otro lado, en el horizonte B se observa un color gris con tonalidades naranjas (10), lo cual puede indicar un mal drenaje y que hay presencia de hierro en el suelo, este horizonte presenta una resistencia al rompimiento plástica según lo establecido en la guía RASTA, en este lote hay presencia de carbonatos en niveles bajos o muy bajos y la mayor parte del tiempo el terreno presenta inundaciones que pueden ser usadas como método de riego.

- Caracterización del suelo en el Lote Macho Muerto: al presente tiene una edad de plantación de 14 años y es el segundo lote más grande del predio, en él se halló dos horizontes (A y B) con un espesor de 30 y 20 cm respectivamente. Se determina que el estado de humedad del suelo es húmedo, posee un pH de 5,6 y temperatura de 29,2°C, además presenta una textura franco-arcillosa en ambos horizontes, sin embargo, el horizonte A presenta un color oscuro (14) lo cual indica buen contenido de materia orgánica, también se clasifico su resistencia al rompimiento como firme-plástico (Álvarez, Cock, & Estrada, 2010), por otro lado, en el horizonte B se observa un color pardo (26) el cual es indicativo de niveles medios o bajos de materia orgánica y de gran variabilidad en la fertilidad del suelo (Crosara, 2002), (Álvarez, Cock, & Estrada, 2010), este horizonte presenta una resistencia al rompimiento firme según lo establecido en la guía RASTA, no se reporta presencia de carbonatos en el suelo de este lote.
- Caracterización del suelo en el Lote Las Marraneras: en el perfil del suelo se presentan dos horizontes; el horizonte A con un espesor de 39 cm, con matices de color oscuro (14), lo que suelen indicar un mayor contenido de materia orgánica (Crosara, 2002), y el horizonte B con un espesor de 21 cm, con matices de color amarillo rojizo (18); posee un pH de 5,2 y temperatura de 28,4°C, lo que se constata como un pH muy activo. Cabe resaltar que el suelo es húmedo-firme, presentando una textura Franco-Arenoso (FA) y carbonatos bajos (Álvarez, Cock, & Estrada, 2010).

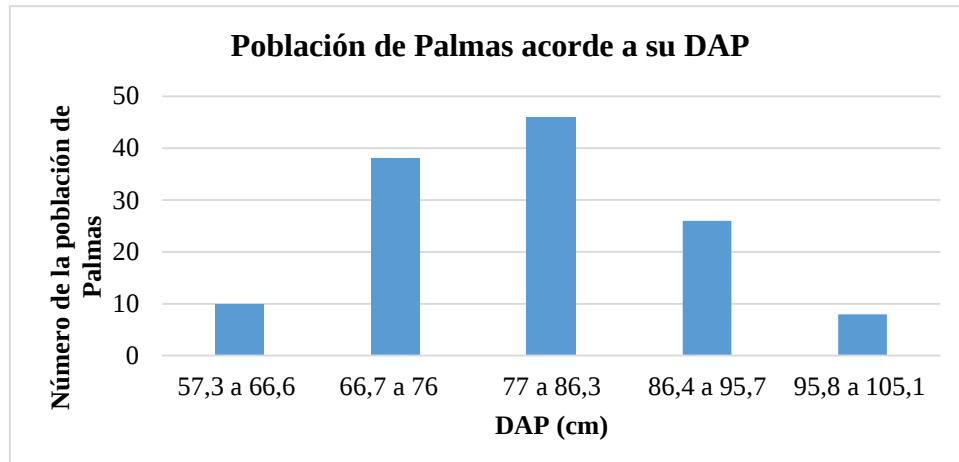
En cuanto al suelo ideal del cultivo de palma de aceite, debe cumplir una labor sustancial ya que este determina la disponibilidad de nutrientes y agua (Technoserve, 2009). Pero por la rusticidad de la palma permite que se adapte a una gran variedad de suelos. El suelo óptimo es de textura franco-arcillosa, profundo con buen drenaje, con pH entre 4.5 a 7.0 (moderadamente ácido)

y con un nivel de fertilidad de medio a alto; cuando el suelo es fértil y rico en materia orgánica tiene mayor potencial (Melado H, 2008). Cabe resaltar que se debe mantener un equilibrio entre los nutrientes del suelo y una buena porosidad, debido a la alta demanda nutricional que tiene el cultivo (Raygada, 2005). Cuando existe un exceso de agua en el suelo limita la productividad del cultivo, pero cuando es un suelo drenado aumenta la capacidad de soporte de la palma y la cantidad de oxígeno del suelo (Technoserve, 2009). De acuerdo a la anterior información se pueden identificar cuál de los tres lotes cumple adecuadamente o no con los rangos óptimos del cultivo de palma de aceite. Como se puede observar en el **Anexo G**, se puede evidenciar que el lote Macho Muerto cumple con los rangos óptimos encontrados por el cultivo de palma de aceite, se presenta un suelo franco-arcilloso lo que quiere decir que presenta una adecuada retención de agua y de nutrientes, buena aireación, buena penetración de raíces y se trabaja con poca resistencia, pero en cuanto al pH del suelo es moderadamente ácido lo que puede ocurrir que se reduzca la actividad microbiana e intervenga en el desarrollo del cultivo; de acuerdo a la textura del suelo y del pH se obtiene la cantidad de materia orgánica. Aunque los otros dos lotes no cumplen a cabalidad con las condiciones no están muy alejadas del requerimiento, el lote Las 23 presenta un suelo arcilloso son escarchados, mal aireados, retienen el agua y los nutrientes con fuerza esto se puede constatar con la época de invierno donde las precipitaciones son muy altas este lote en especial mantiene inundado, se caracteriza por tener un difícil drenaje y así mismo dificulta su labranza y riego. Por último, el Las Marraneras presenta un suelo franco-arenoso caracterizándose por retener poca humedad y tender a secarse, cuenta con una buena aireación y posee baja fertilidad porque lo que necesita de aportes de elementos orgánicos e inorgánicos. El pH de los tres lotes se encuentra dentro del rango óptimo de 4,5 a 7 que significa que es moderadamente ácido esta condición es la ideal para el desarrollo del cultivo y para que se realice una mejor asimilación de los nutrientes. Los suelos agrícolas con prácticas orientadas a la conservación impactan positivamente y en mayor medida la captura de carbono, aparte contribuye a recuperar suelos degradados (FAO, 2000). Por otro lado, se debe tener en cuenta que la poda y las hojas caducadas cuenta como pérdida de carbono del cultivo si se retira de la plantación o se quema (Mota et al., 2010). Las condiciones agroclimáticas son importantes, ya que por medio de la interacción palma-medio se permite lograr un rendimiento del cultivo, garantizando las condiciones tanto de sostenibilidad como de competitividad.

8.2.Fase 2. Potencial de captura de CO₂ por la palma de aceite.

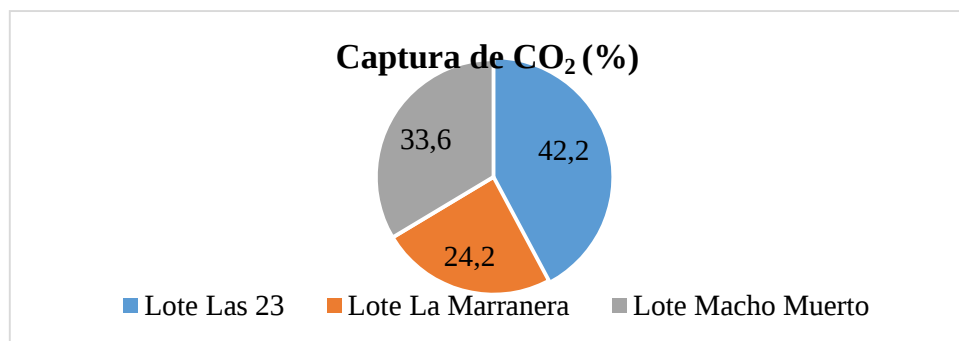
8.2.1. Estimación de la captura de CO₂ mediante iTree-Eco.

La variable DAP es de gran importancia porque la mayor parte de la estimación del potencial de fijación de carbono se realiza dentro de este factor ya que es la variable que más se correlaciona con la biomasa, por ello se analiza de manera separada en cada una de palma y no en conjunto.



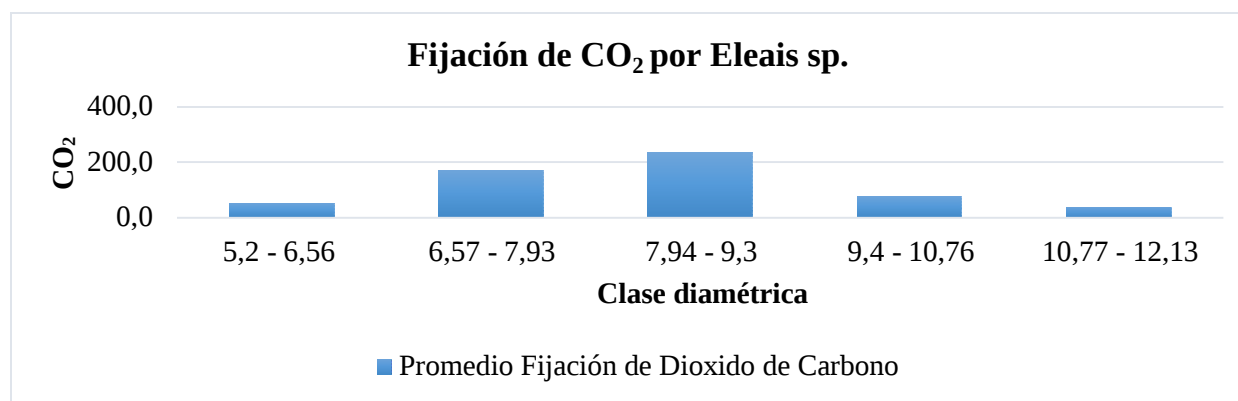
Gráfica 8. Número de individuos de Palma de acuerdo a su DAP. Por Ramos & Rincón, 2020.

Se evidencia que el 35,9% de individuos presentan un DAP >77 cm y <86,3 cm correspondiente a 46 palmas de aceite del total de la población; se encuentra el 29,7% comprendidos en 38 individuos presentan un DAP >66,7cm y <76cm; estos dos rangos de DAP predominan dentro de la hectárea del cultivo de palma de aceite. Cabe aclarar que estas medidas de DAP de las palmas se encuentran distribuidas en los tres lotes. El DAP de la palma de aceite presenta una variación altamente significativa con respecto a la edad de la palma. Los datos DAP permiten analizar la captura porcentual de CO₂ por lote de la siguiente manera: el lote Las 23 tiene una captura de CO₂ de 42,2%, el lote La Marranera una captura de CO₂ de 24,2% y el lote Macho Muerto una captura de CO₂ de 36,6% siendo este último el lote con mayor potencial de captura de CO₂.



Gráfica 9. Porcentaje de captura de CO₂ por cada lote del cultivo de Palma de Aceite. Por Ramos & Rincón, 2020.

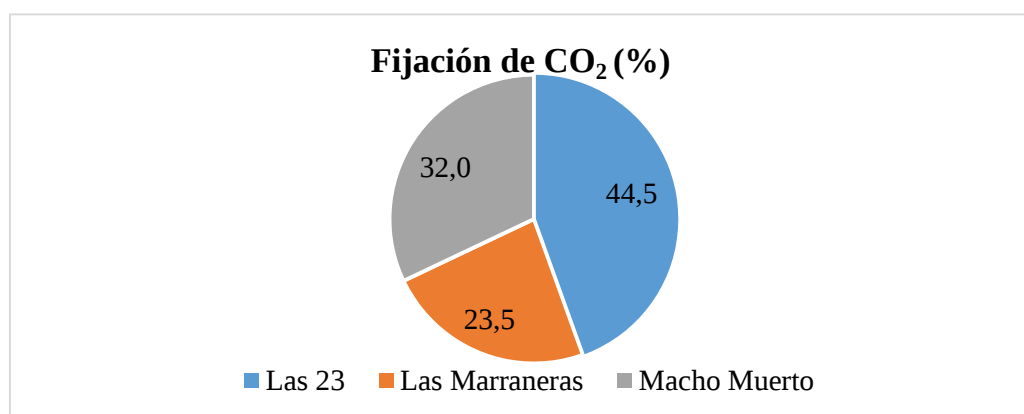
La zona de estudio consta de una hectárea de cultivo de palma de aceite que comprende 128 individuos; la fijación total por una hectárea fue de 12129,12 kg de CO₂. De acuerdo a la **Gráfica 9**, existe mayor porcentaje de captura de CO₂ en el lote Las 23, correspondiente a 5622,073 kg de CO₂, cabe resaltar que este lote se compone de 54 palmas, son las más antiguas de aproximadamente 23 años de edad; en cuanto al lote Macho Muerto comprende 43 palmas de aceite aproximadamente de 14 años de edad, corresponden a un potencial de captura de 3726,885 kg de CO₂ y, por último, se encuentra el lote más joven Las Marraneras de aproximadamente 12 años de edad, con un potencial de captura de 2781,126 kg de CO₂. Ya que a medida que la palma crece realiza un proceso de acumulación de carbono en sus tejidos vegetales (Castilla, 2004), de acuerdo a esto el potencial de captura está directamente relacionado con la formación de la biomasa de la palma (Aranda Arguello, y otros, 2018), esto quiere decir que cuanto más adulta es la palma mayor va hacer su potencial.



Gráfica 10. Fijación de CO₂ por clase diamétrica. Por Ramos & Rincón, 2020.

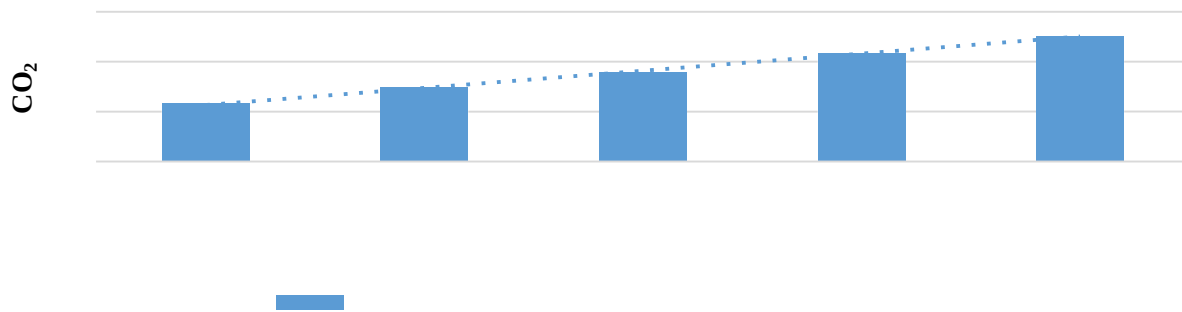
Se puede evidenciar que la clase diamétrica que concentra mayor número de palmas de aceite es el número cuatro correspondiente a 9,4 m - 10,76 m, pero solo realiza el 29,1% de la fijación total de CO₂, en comparación con la clase diamétrica número tres correspondiente a 7,94 m – 9,3 m con tan solo 19 palmas de aceite realiza 37,1% de la fijación total; siendo esta la altura óptima de la palma donde se realiza el mayor aporte de captura de CO₂. Se puede observar que las clases diamétricas más pequeñas (1) y más altas (5) realizan el menor aporte de la fijación total, siendo del 4,9% y 9% respectivamente. Se deduce que a medida que aumenta la altura de la palma así mismo aumenta su fijación de CO₂, pero esto ocurre hasta determinado tiempo cuando la palma ya está muy alta a una altura de 11 m o más se disminuye su capacidad de fijación, así mismo como la producción de esta. De acuerdo con lo anterior, las palmas de aceite que adquieren una altura de 5 a 6 metros alcanzan un promedio de fijación de 49,4 kg de CO₂ a comparación de las palmas que cuentan con una altura de 10 a 12 metros de altura que fijan 37,8 kg de CO₂. Cabe resaltar que dentro de los tres lotes se pueden encontrar similitud en las alturas de los individuos, independientemente de que estas cuentan con edades de plantación diferente; pero existe una variación en la fijación de CO₂ con respecto a la edad de la palma. Cabe aclarar que las palmas tienen una reducida densidad específica en su madera, en promedio es menos de la mitad de los árboles leñosos; por lo que son capaces de capturar y almacenar menos CO₂ en comparación a árboles leñosos (Domínguez, 2016).

8.2.1. Estimación de captura de CO₂ mediante ecuaciones alométricas.



Gráfica 11. Porcentaje de fijación de CO₂ por cada lote del cultivo de Palma de Aceite. Por Ramos & Rincón, 2020.

Se evidenció que una hectárea de palma de aceite tiene un potencial de captura de 4549,56 kg de CO₂. De acuerdo con la **Gráfica 11**, se puede observar que existe un mayor porcentaje de fijación del 44,5% en el lote Las 23 correspondiente a un 2024,6 kg de CO₂, seguido del lote Macho Muerto con un 32% de fijación de CO₂ que corresponden a 1457,7 kg de CO₂ y, por último, se encuentra 1067,3 kg de CO₂ restantes que corresponden al Lote Las Marraneras con un 23,5% de la fijación total.



Gráfica 12. Fijación de CO₂ por clase diamétrica. Por Ramos & Rincón, 2020.

De acuerdo con la **Gráfica 12**, la clase diamétrica uno y cinco aportan la menor fijación total de CO₂ correspondiente al 6,1% y 7,7% respectivamente, igualmente estas cuentan con la menor cantidad de individuos de palma de aceite; por consiguiente, la clase diamétrica número tres cuenta con 46 individuos de palma y corresponde al 36,2% de la fijación total de CO₂, siendo esta clase diamétrica la que aporta un mayor potencial de captura con la clase diamétrica cuatro que cuenta con 30 individuos de palma y aportan el 28,5%, en comparación con las anteriores mencionadas. Las palmas de aceite que adquieren una altura de 5 a 6 metros alcanzan un promedio de fijación de 23 kg de CO₂ a comparación de las palmas que cuentan con una altura de 10 a 12 metros de altura que fijan 50,4 kg de CO₂ ya que no tienen una diferencia mayor de 5 individuos de palma se deduce que existe un crecimiento (véase la línea de tendencia) con respecto a la altura de los individuos y el promedio de la fijación de carbono. El patrón de captura de CO₂ es de manera ascendente y gradual, a medida que aumenta la altura de la palma así mismo aumenta su capacidad de fijación de CO₂, esto ocurre hasta determinado tiempo cuando la palma finaliza su vida útil.

En un estudio realizado por C. Castilla, se determinó el potencial de captura de carbono de una hectárea de palma de aceite utilizando correlaciones alométricas teniendo en cuenta variables como el diámetro, longitud y densidad de la palma. Donde se estimó un rango de fijación entre 80 y 143 ton C/ha (Castilla, 2004). De acuerdo, a la metodología empleada en el presente estudio, los valores estimados están muy por debajo de este rango teórico, ya que la fijación total de CO₂ fue de 3,6 ton C/ha por medio del software i-Tree Eco y por medio de la ecuación alométrica fue de 1,3 ton C/ha, la variable más significativa en las ecuación alométrica escogida para la estimación de biomasa en la palma corresponde a la altura total, ya que el DAP no demuestra variaciones significativas para la fijación de CO₂ (Yepes A, y otros, 2011). Por otro, un estudio realizado en Chiapas, México se estimó una fijación de 125,5 ton C/ha por la palma de aceite (Aranda Arguello, y otros, 2018). De acuerdo con el biólogo C. Bayona, la fijación de CO₂ del cultivo de la palma está por debajo del cultivo de caña de azúcar, con 44kg/ha/día, pero es superior de cultivos como el maíz y la remolacha (Bayona, 2016). Según Concha et al, la fijación de carbono en los sistemas agroforestales de cacao oscila desde 26,2tonC/ha hasta 35,5tonC/ha presentan estimaciones mayores que la palma de aceite (Concha et al., 2007).

Si bien es cierto, el resultado de la ecuación alométrica concierne con la misma secuencia de los resultados obtenidos por lotes mediante el software i-Tree Eco. Pero se puede evidenciar una gran diferencia entre el total de fijación que existe entre el software y la ecuación alométrica, una de las posibles causas de esta diferencia es debido el software incluye variables más específicas de la condición actual de cada individuo (estado de la copa, altura, DAP exposición solar y uso del suelo), la ecuación por el contrario considera como variable independiente únicamente la altura total de la palma, y fue realizada para las condiciones del municipio; a partir de esto se puede inferir que aunque no se tenga conocimiento sobre el funcionamiento del software y los procesos que ejecuta el resultado es un dato más preciso de fijación de CO₂ en este caso.

8.3.Fase 3. Estrategias o medida de mitigación en cultivos de palma de aceite.

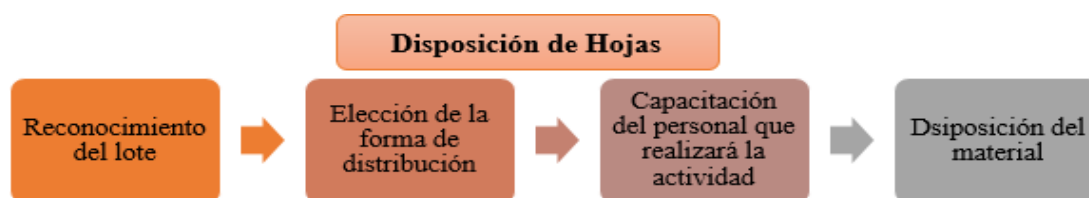
En esta fase se proporciona un plan de gestión y mitigación basado en los resultados obtenidos en la fase 2, de acuerdo con la captura de carbono. Por ende, se elaboró con el objetivo de minimizar o compensar las pérdidas de carbono y las emisiones de GEI.

Las estrategias de implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y mitigación de CO₂, se exponen mediante fichas, las cuales corresponden a cada una de las actividades que se realizan en el cultivo. Estas fichas se redactaron de manera objetiva para que las BPA seleccionadas no conduzcan a ocasionar un impacto potencial sobre el ambiente o los ecosistemas circundantes al cultivo, de igual forma, se tienen en cuenta las condiciones edafoclimáticas de la hectárea donde se realizó el estudio, con el fin de maximizar el potencial de fijación de CO₂ por parte del cultivo de palma de aceite (*Elaeis* sp), y así mismo poder contribuir a la reducción de dióxido de carbono emitido a la atmósfera.

8.3.1. Diseño e Implementación de Estrategias de BPA

Tabla 5. Biomasa - Aportes de nutrición.

Ficha 1: Biomasa – Aportes de nutrición
Objetivos: 1. Proteger los suelos de procesos de erosión. 2. Aumentar los contenidos de materia orgánica, mejorar las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo. 3. Incrementar el número de raíces. 4. Conservar y aumentar la biodiversidad de especies entomológicas en el sistema productivo. 5. Proteger el sistema radicular de potenciales insectos plaga.
Características: Las buenas prácticas contenidas en esta ficha, son estrategias que permiten un mayor equilibrio del sistema productivo, dado que favorecen el desarrollo radicular de las plantas, mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, representando un reciclaje natural de nutrientes.
Actividades a desarrollar
Actividad 1. Adición-distribución de biomasa, disposición de hojas. • Materiales: Guantes de látex antideslizante y con repelente al agua, casco de polietileno y policarbonato con fibra de vidrio; botas caña alta y entubada en pvc, hojas podadas, machete.
 El diagrama ilustra los materiales requeridos para la actividad. A la izquierda se muestran un casco de seguridad amarillo, un par de guantes de látex negro, un machete con hoja metálica y mango de madera, y un par de botas altas de caucho negro. A la derecha, se presenta una hoja de palma verde con una etiqueta que indica 'Raquis' para la parte superior y 'Pecíolo' para la base.
Figura 3. Materiales empleados para realizar la adición y distribución de biomasa, (OIT, 2011).

Tabla 5. Continuación**Flujo de procesos:***Gráfica 13. Diagrama de procesos para la disposición de las hojas. Por Ramos & Rincón, 2020.*

Reconocimiento del lote: Realizar un recorrido por el sitio donde se dispondrá el material, identificando calles de cosecha, calles de no tránsito, zonas inundables, drenajes, a fin de no afectar las diferentes actividades que se adelanten en el cultivo.

Forma de distribución: De acuerdo a las características de la plantación las hojas pueden distribuirse de manera circular a punta de hoja o a lo largo en las calles de no tránsito.

*Figura 4. Formas de realizar la distribución de las hojas (circular y a lo largo de las calles, respectivamente) (ICAFE, 2011)*

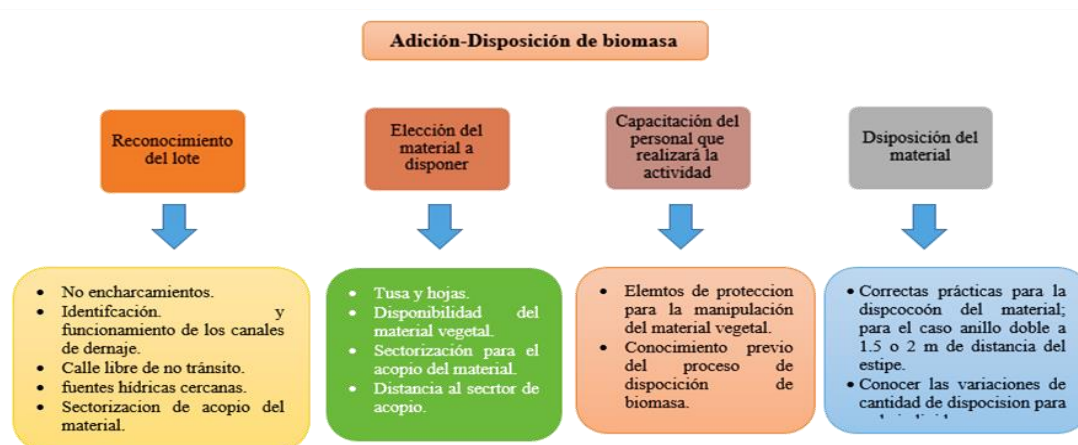
Capacitación: El personal que realiza la labor debe ser capacitado a fin de tener éxito, se debe resaltar temas como el uso adecuado de los elementos de protección a emplear, los beneficios de esta labor para el cultivo además de tener cuidados como no dejar hojas dentro de los canales de riego o drenaje, y retirar las espinas del peciolo.

Usos y logros: Esta práctica promueve el desarrollo radicular, permite una mayor tasa de efectividad de los fertilizantes, aumenta los contenidos de materia orgánica en el suelo, llegando a mejorar propiedades físicas, químicas y biológicas de este

Disposición del material: Una vez cortada la hoja, se divide el peciolo del raquis, a la parte peciolar se retiran las espinas y se divide en dos o tres partes dependiendo de la longitud de este material puede ser distribuido alrededor de la palma o entre palma. La parte del raquis se divide en dos o tres partes y se distribuye alrededor del plato o en la calle de no tránsito. **Nota:** El fertilizante debe ser aplicado en el sitio donde se dispuso el material vegetal.

Tabla 5. Continuación**Actividad 2.** Adición de biomasa – disposición de tusa – fibra

- **Materiales:** Guantes de látex antideslizante y con repelente al agua, casco de polietileno y policarbonato con fibra de vidrio; botas caña alta y entubada en pvc, hojas podadas, machete.

Flujo de procesos:

Gráfica 14. Diagrama de procesos para la disposición de biomasa. Por Ramos & Rincón, 2020

Reconocimiento del lote: Identificar el área donde se dispondrá el material, esta no debe presentar encharcamientos, además se debe tener en cuenta la ubicación de los canales de drenaje, calle de no tránsito, fuentes hídricas cercanas, actividad agrícola de los lotes vecinos. Se debe elegir el sitio de acopio del material a disponer.

Permisos: Realizar carta de solicitud de permiso ante el Instituto Colombiano Agropecuario, con los respectivos datos de cantidad a disponer, ubicación y manejo de mosca del establo.

Elección del material a disponer: Dadas las altas cantidades de material vegetal implementado para esta práctica se debe tener en cuenta la disponibilidad de materia ofertadas en la zona, la distancia al punto de acopio.

Usos y logros: Esta práctica promueve el desarrollo radicular, permite una mayor tasa de efectividad de los fertilizantes, aumenta los contenidos de materia orgánica en el suelo, llegando a mejorar propiedades físicas, químicas y biológicas de este.

Disposición del material: El material puede ser dispuesto en anillo doble a 1.5 o 2 m de distancia del estipe, (punta de hoja en palma de 1 a 2 años). También puede disponerse en media luna, o sobre las calles de no tránsito. Las cantidades a disponer por palma varían entre los 200 y 400 Kg por individuo. **Nota:** El fertilizante debe ser aplicado en el sitio donde se dispuso el material vegetal.

Tabla 5. Continuación

Estrategia de Monitoreo		
	Productividad	Raíz y Suelos
Corto plazo (6 meses)	Aumento de peso promedio de racimos	Aumento en número de raíces terciarias y cuaternarias
Mediano plazo (2-3 años)	Aumento de inflorescencias femeninas	Aumento de la materia orgánica del suelo y de la actividad biológica del suelo
Largo plazo (5 años)		Cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo

Nota: Descripción de las actividades a realizar para mejorar los aportes de nutrición, mediante la biomasa, por Ramos y Rincón, 2020.

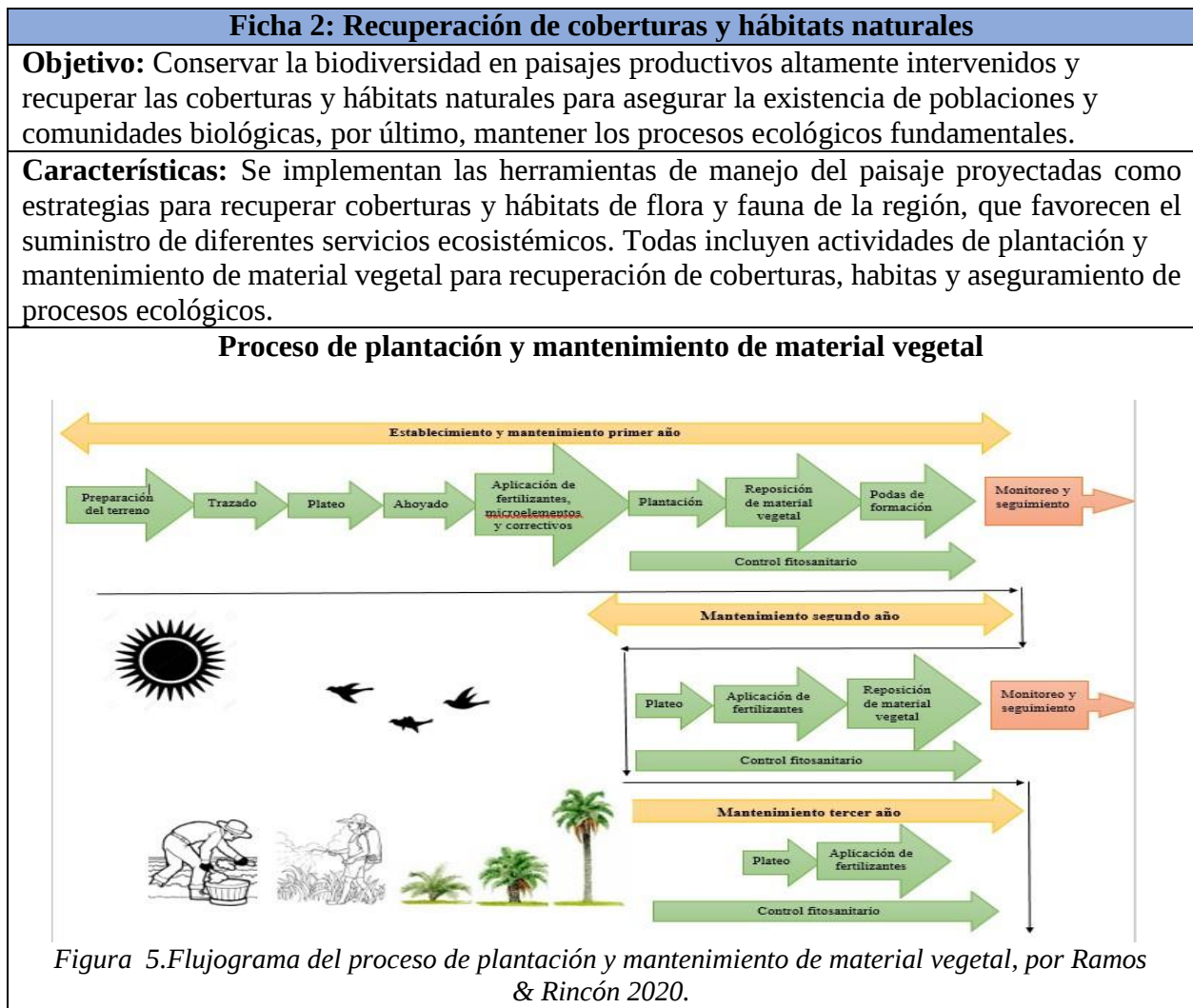
Tabla 6. Recuperación de coberturas y hábitats naturales.

Tabla 6. Continuación

- **Materiales:** Plántulas, hidroteñedor, fertilizantes, microelementos, correctivos, insecticidas, herramientas.



Figura 6. Materiales y herramientas para el proceso de plantación y mantenimiento de material vegetal (Garden, 2016).

Actividades a desarrollar

Establecimiento y mantenimiento primer año.

- **Preparación del terreno:** Previamente a la plantación de árboles o arbustos, es necesario descapotar o retirar las gramíneas o plantas arvenses que interfieren las áreas en que se proyecta implementar las HMP, aclarando que es indispensable intervenir la superficie para cada árbol no eliminar la totalidad de capa vegetal.
- **Trazado:** Se realiza dependiendo del diseño de la HMP a implementar, como se muestra en la descripción de cada estrategia.
- **Plateo:** Es recomendable un plato de 1m de diámetro y al menos 4 intervenciones en el año (1 cada 3 meses) para controlar las gramíneas y plantas arvenses que entran en competencia en la etapa de establecimiento.
- **Ahoyado:** Se sugiere un repique con diámetro y profundidad de 30 cm, en el fondo se deja suelo suelto para de manera previa a la plantación incorporar los correctivos y microelementos. El resto de suelo removido se conserva para retornarlo al hoyo una vez se disponga la planta.
- **Aplicación de fertilizantes, correctivos y microelementos:** Dependiendo de las condiciones o necesidades del suelo de cada predio, se aplican fertilizantes con elementos mayores, menores y microelementos. Cuando es necesario aplicar correctivos, se disponen en el fondo del hoyo o repique, se mezclan con el suelo 4 o 5 días antes de la plantación. Los fertilizantes se aplican en el momento del establecimiento de las plantas.
- **Plantación:** En el momento de la plantación, el material vegetal previamente rustificado, debe estar hidratado y es recomendable hacer una poda de raíz a 2 centímetros de la base de la bolsa. El sistema radicular de las plántulas debe quedar derecho para evitar malformaciones y la tierra con la que se sella el hoyo debe ser aprisionada evitando los espacios porosos que afectan el prendimiento de la palma.

Tabla 6. Continuación

- **Reposición de material vegetal:** Aproximadamente 2 meses después del establecimiento, se sugiere hacer una resiembra del 10% del material vegetal plantado, conservando las mismas especificaciones consideradas inicialmente.
- **Podas de formación:** Se realizan en plantas jóvenes para asegurar fustes fuertes, ramas estructuralmente robustas, organizadas y equilibrio al futuro árbol adulto. Los cortes se hacen en diagonal, lo mas cercanos posible al fuste y con herramientas (tijeras o serruchos podadores) previamente esterilizados para evitar infestación de agente patógenos entre una y otra planta.
- **Control fitosanitario:** De manera previa y posterior a la plantación del material vegetal es importante realizar monitoreos para evaluar la presencia de plagas forestales, en caso de evidenciarse, se sugiere el favorecimiento de controladores biológicos y solo en casos extremos utilizar productos químicos. Los productos químicos deben ser manipulados y aplicados bajo especificaciones técnicas y de seguridad.

Mantenimiento segundo año.

- **Plateo:** Para controlar las gramíneas que entran en competencia con las plantas establecidas es recomendable en el segundo año mantener el plato de 1m de diámetro y continuar con las 4 intervenciones (1 de cada 3 meses).
- **Aplicación de fertilizantes:** Es importante reforzar las actividades de fertilización en el segundo año, dependiendo de la condiciones y necesidades del suelo de cada predio.
- **Reposición de material vegetal:** En el segundo año, una vez inicie la temporada de lluvias, se sugiere hacer una nueva resiembra del 10% del material plantado, conservando las mismas especificaciones consideradas inicialmente.
- **Control fitosanitario:** Es importante realizar monitoreos periódicos para evaluar la presencia de plagas forestales, en caso de evidenciarse, se sugiere mantener el favorecimiento de controladores biológicos y solo en casos extremos utilizar producto químicos. Los productos químicos deben ser manipulados y aplicados bajo especificaciones técnicas y de seguridad.

Mantenimiento tercer año.

- **Plateo:** Para controlar las gramíneas que entran en competencia con las plantas establecidas es recomendable en el tercer año mantener el plato de 1m de diámetro y realizar 3 intervenciones (1 cada 4 meses).

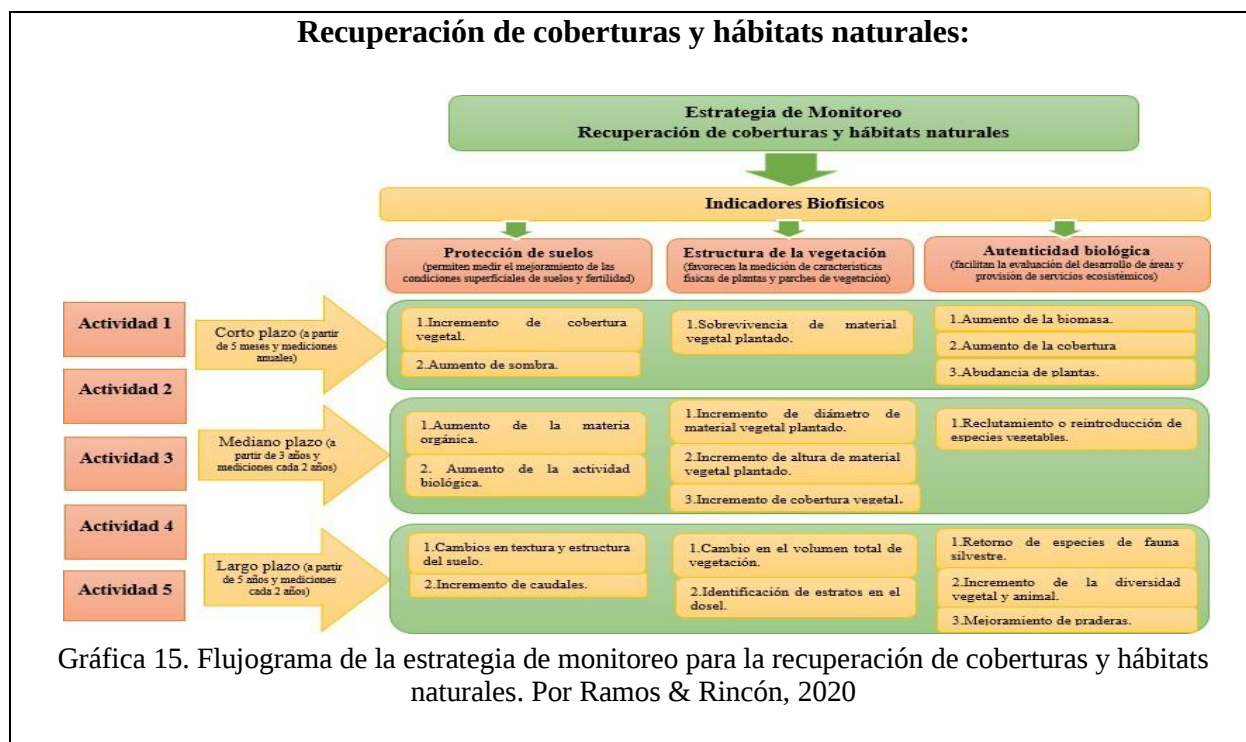
Tabla 6. Continuación

• Aplicación de fertilizantes: Es importante reforzar las actividades de fertilización en el tercer año, dependiendo de las condiciones y necesidades del suelo de cada predio. • Control fitosanitario: Es importante realizar monitoreos periódicos para evaluar la presencia de plagas forestales, en caso de evidenciarse, se sugiere mantener el favorecimiento de controladores biológicos y solo en casos extremos utilizar productos químicos. Los productos químicos deben ser manipulados y aplicados bajo especificaciones técnicas y de seguridad.
Descripción de actividades para implementar las HMP de: “Recuperación de coberturas y hábitats naturales”
Actividad 1. Cercas vivas sencillas y dobles en potreros y cultivos para favorecer corredores de conectividad. • Diseño: cercas vivas sencillas (una línea) con árboles o arbustos separados de 3 a 5 m de distancia y cercas vivas dobles (dos líneas) con árboles o arbustos separados entre sí de 3 a 5 m y entre líneas 5 m. • Sitios recomendados: potreros, cultivos, áreas despejadas. • Uso: Se recomienda para delimitar áreas, mejorar las condiciones de sombrero, microclima, preaderas, percha de aves y para favorecer corredores de conectividad dentro del predio y con predios vecinos. • Protección de agentes externos: Es recomendable en las primeras etapas (de cero a tres años) construir cercas de protección, para evitar daños por ramoneo y pisoteo del ganado. Pueden implementarse usando postes plásticos, de cemento o madera de aproximadamente 2 m de longitud, ubicados cada 2,5 m y cuerdas de alambre de púas separadas 25 cm.
Actividad 2. Árboles aislados o agrupados para sombra, mejoramiento de microclimas y precha de aves. • Diseño: árboles de copa aparasolada o redonda, aislados o en grupos de hasta 5 individuos distribuidos al azar en áreas de potreros o dentro de cultivos de pan coger. • Sitios recomendados: potreros, cultivos de pan coger y áreas despejadas. • Uso: Se recomienda para asegurar sombra, reducir la evaporación de agua a la atmósfera, favorecer la generación de microclimas y garantizar la perchas de aves permanentes y migratorias que diseminan semillas. • Aislamiento: Es recomendable en las primeras etapas (de cero a tres años) construir cercas de protección, para evitar daños por ramoneo y pisoteo del ganado. Pueden implementarse usando postes plásticos, de cemento o madera de aproximadamente 2 m de longitud, ubicados cada 2,5 m y 5 cuerdas de alambre de púas separadas 25 cm.

Tabla 6. Continuación

Actividad 3. Incremento de franjas y rondas hídricas con árboles, arbustos y procesos de sucesión vegetal. • Diseño: plantación de árboles y arbustos de la región con distribución al azar favorecimiento de procesos de sucesión vegetal. • Sitios recomendados: franjas protectoras de cuerpos, corrientes hídricas y claros generados por la inclusión de otras actividades antrópicas. • Uso: Se recomiendan para aumentar la vegetación y brindar protección a las rondas y franjas de cuerpos y corrientes hídricas. • Aislamiento: Es recomendable construir cercas de protección que aislen las áreas intervenidas para controlar el ingreso de ganado y personas, evitando alteraciones en el proceso de recuperación. Pueden implementarse usando postes plásticos, de cemento o madera de aproximadamente 2 m de longitud, ubicados cada 2,5 m y 5 cuerdas de alambre de púas separadas 25 cm.
Actividad 4. Reforestación con especies nativas y exóticas que se adapten a las condiciones de la región. • Diseño: plantación de árboles de especies nativas o introducidas que se adapten a condiciones de la región, en densidad de 1.111 individuos por hectárea, establecidos a 3x3 m de distancia en cuadrado para terrenos planos y a 3,33x3,33 m en triángulo para zonas inclinadas. • Sitios recomendados: áreas forestales intervenidas previamente con otro cultivos, desprovistas de vegetación o en claros de bosques. • Uso: Se recomiendan para recuperar la cobertura vegetal y favorecer la provisión de servicios ecosistémicos. • Aislamiento: Es recomendable en las primeras etapas (de cero a tres años) construir cercas de protección, para evitar daños por ramoneo y pisoteo del ganado. Pueden implementarse usando postes plásticos, de cemento o madera de aproximadamente 2 m de longitud, ubicados cada 2,5 m y 5 cuerdas de alambre de púas separada 25 cm.
Actividad 5. Conservación de morichales, favorecimiento de regeneración y plantación de nuevos moriches (<i>M. flexuosa</i>) y especies asociadas. • Diseño: plantación, rescate o favorecimiento de regeneración natural de moriche y especies asociadas a este ecosistema, con distribución al azar. • Sitios recomendados: áreas ocupadas por morichales o las que en algún momento lo fueron. • Uso: Se recomienda para recuperar o mejorar las condiciones de morichales. • Aislamiento: Es recomendable construir cercas de protección que aislen las áreas intervenidas para controlar el ingreso de ganado y personas, y evitar alteraciones en el proceso de recuperación. Pueden implementarse usando postes plásticos, de cemento o madera de aproximadamente 2 m de longitud, ubicados cada 2,5 m y 5 cuerdas de alambre de púas separada 25 cm.

Tabla 6. Continuación



Actividad 6. Poda de mantenimiento

La poda de mantenimiento consiste básicamente en el corte de hojas que se encuentren muertas o secas, disminuyendo en más del 50% su área foliar, siendo inútiles para la planta que las porta (Chávez M, 2003).

Sin embargo, desde los 3 o 4 años, la poda únicamente se realiza en las hojas que sean un estorbo para hacer el corte de los racimos (Flechas Robles, 2014).

- **Poda:** Se implementa esta labor cuando se evidencian hojas no funcionales para la palma y que por el contrario pueden ser causantes de enfermedades o plagas para la misma (León Plazas, 2017).
- ✓ **Alistamiento de la herramienta:** se debe verificar el estado de la herramienta a usar (malayo y tubo telescópico) (León Plazas, 2017).



Figura 7. Herramienta para la poda de mantenimiento (malayo y tubo telescópico, respectivamente)

Tabla 6. Continuación

- ✓ **Hojas a podar:** en esta actividad se realiza un conteo de la cantidad total de hojas que tiene la palma y se seleccionan las que serán cortadas (León Plazas, 2017).
- ✓ **Identificación de la filotaxia de la palma:** se debe observar la disposición de las hojas (izquierda o derecha) (León Plazas, 2017).

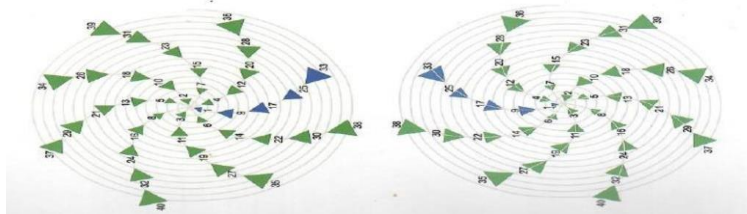
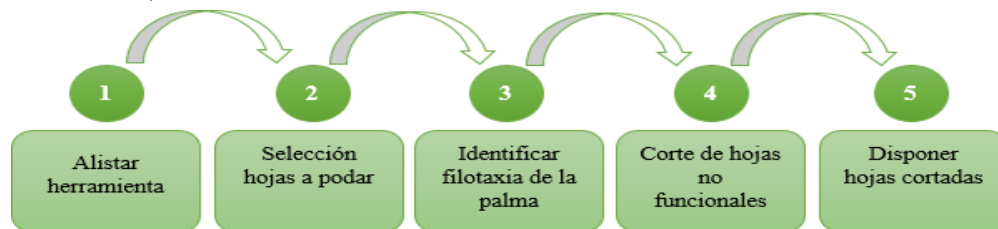


Figura 8. Filotaxia de la palma de aceite (Borrero, 2017)

- ✓ **Cortar hojas no funcionales:** corte de las hojas que fueron seleccionadas previamente como no funcionales para la palma (León Plazas, 2017).
- ✓ **Disposición de hojas cortadas:** las hojas que fueron retiradas, deben ser dispuestas en los caminos de acceso o movilidad de la plantación (León Plazas, 2017).



Gráfica 16. Flujograma de las fases para realizar la poda de mantenimiento. Por Ramos & Rincón, 2020 adaptado de (León Plazas, 2017).

- **Control de malezas:** actividad consecutiva a la poda; se realiza mediante un procedimiento llamado caseo, el cual se puede realizar de forma manual (azadón) o de forma mecánica (guadaña), con una periodicidad de 2 veces al año (Flechas Robles, 2014).
- **Castración:** Se emplea únicamente en palmas jóvenes, este procedimiento consiste en la eliminación de las inflorescencias masculinas y femeninas desde los 14 hasta los 27 meses después de ser trasplantadas, con el fin de mejorar la producción y los rendimientos en la cosecha y del mismo modo evitando el hospedaje de insectos y hongos (Flechas Robles, 2014).

Nota: Descripción de las actividades a realizar para la recuperación de coberturas y hábitats naturales en la zona de estudio, por Ramos y Rincón, 2020.

Tabla 7. Rehabilitación y recuperación de áreas: obras para contrarrestar procesos de erosión.

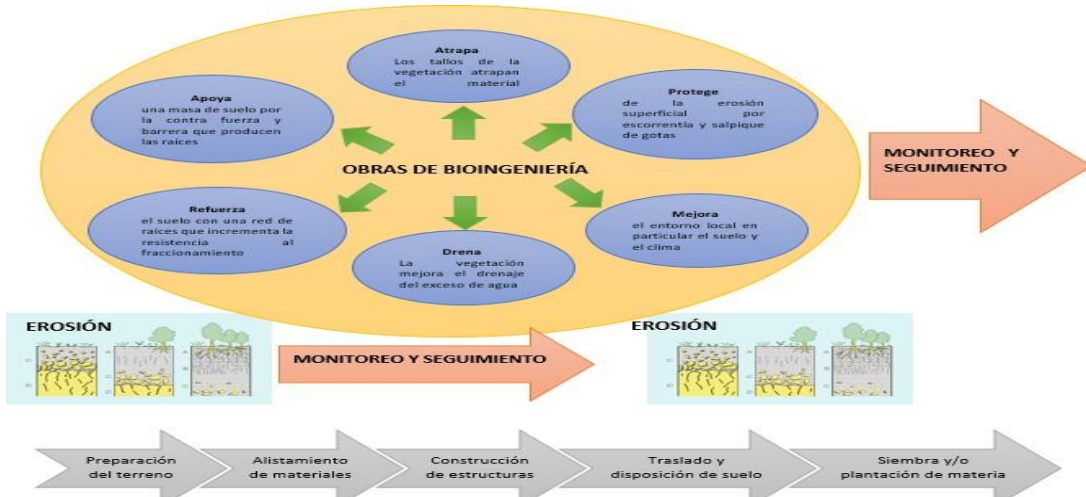
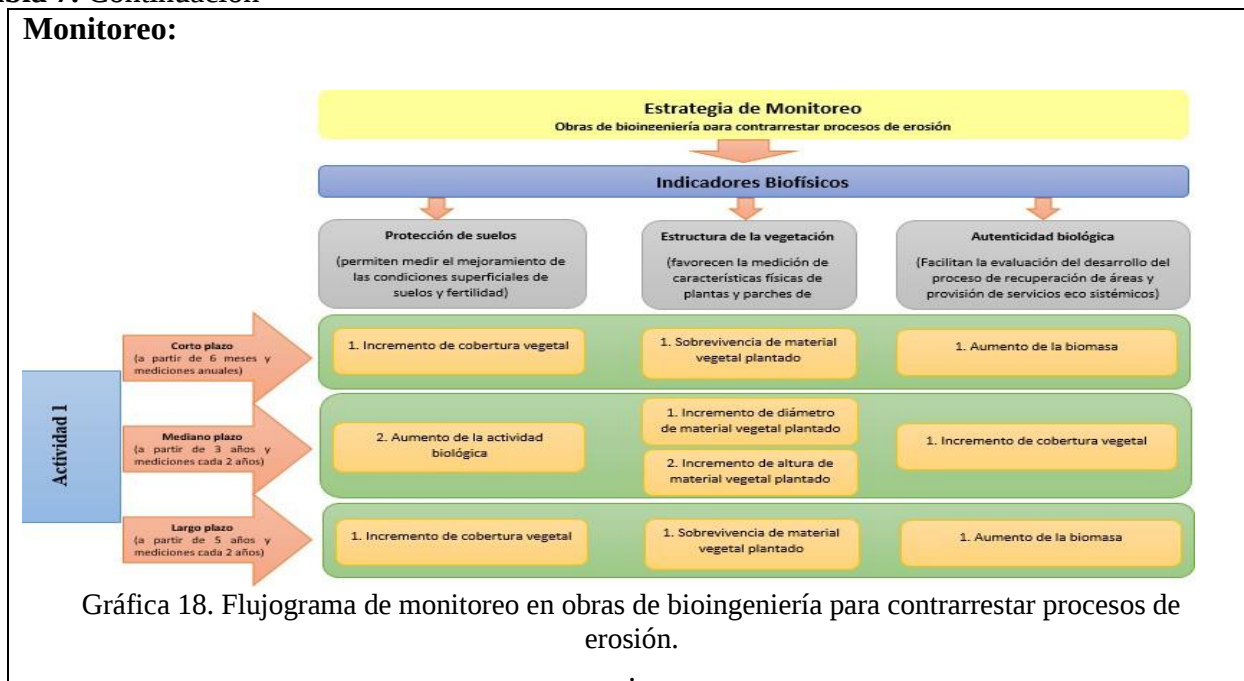
Ficha 3: Rehabilitación y recuperación de áreas: obras para contrarrestar procesos de erosión
Objetivo de las HMP: Rehabilitar o recuperar áreas ubicadas en paisajes productivos altamente intervenidos para restablecer de manera parcial elementos estructurales, funcionales, productividad y utilidad de los ecosistemas.
Características de las HMP: Las HMP están dirigidas a la rehabilitación y recuperación de los ecosistemas. En el caso de la rehabilitación no implica retornar el ecosistema a su estado original, pero si restablecer de manera parcial sus elementos estructurales o funcionales, la productividad y servicios ecosistémicos. Con la recuperación se busca retornar la utilidad replazando un ecosistema degradado por otro productivo. Incluyen técnicas como la estabilización, mejoramiento estético y retorno de los suelos a un propósito útil.
Proceso de implementación de obras de bioingeniería:  Gráfica 17. Flujograma del proceso de implementación de obras de bioingeniería. Por Ramos & Rincón, 2020.
➤ Materiales: Estacas de hierro o madera, estacas vivas, gramíneas, plantas, guadua, tierra negra, rocas de diferentes tamaños, alambre de amarre, puntillas, grapas y herramientas (martillos, ahoyadora, machete, alicata).  . Figura 9. Materiales empleados en el desarrollo de obras de bioingeniería (Dejtiar, 2018)

Tabla 7. Continuación

Actividades a desarrollar
Preparación del terreno: en caso de que el área a intervenir presente pendientes muy pronunciadas es recomendable recortar los taludes para facilitar el trabajo. Alistamiento de materiales: es importante disponer la totalidad de materiales en un lugar cercano al área de intervención para facilitar las actividades que se van a desarrollar. Construcción de estructuras: inicialmente se hincan las estacas de hierro o madera separadas aproximadamente 1 m y transversalmente confinado el conjunto se ubican los travesaños en guadua para conformar la estructura de contención. Traslado y disposición de suelo: es importante disponer de rocas de diferentes tamaños para hacer filtros en la parte interior que favorezcan el drenaje. Después de construir los filtros se debe aportar suelos con altos contenidos de materia orgánica que faciliten la adaptación de las especies vegetales que sean sembradas o plantadas. Siembra y/o plantación de material vegetal: Inicialmente se sugiere sembrar semillas o macollas de plantas gramíneas como bambú (<i>Bambusa vulgaris</i>), guadua (<i>Guadua angustifolia</i>), limoncillo (<i>Cymbopogon citratus</i>), pasto guínea (<i>Panicum maximum</i>), pasto elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>) o pasto kudzú (<i>Pueraria thunbergiana</i>) para que haya amarre del suelo, posteriormente se plantan especies arbustivas como madero negro (<i>Gliricidia sepium</i>), leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>), carbonero (<i>Calliandra</i> sp.), al igual que estacas vivas de aproximadamente 1,5 m de altura, de especies como madero negro (<i>Gliricidia sepium</i>), guayabo (<i>Psidium guajava</i>) o madre de agua (<i>Trichanthera gigantea</i>).
Descripción de actividades para implementar las HMP de: “Obras para contrarrestar procesos de erosión”
Actividad 1. Barreras de control Diseño: se construyen utilizando plantas y materiales de la región. Para su implementación es importante reducir la pendiente del suelo o hacer terrazas mayores al tamaño de las cárcavas para evitar el arrastre del suelo y facilitar la adaptación de las plantas. Las estacas se hincan a 50 cm o 1 m de distancia dependiendo del tamaño de fisura o cárcava y luego se confinan con elementos horizontales para conformar la estructura de contención, se hacen filtros con rocas y se dispone suelo con abundante materia orgánica para sembrar las gramíneas y arbustos que conforman la cobertura vegetal. Uso: se recomienda para reducir la pendiente efectiva de una fisura o cárcava disminuir la velocidad del agua.

Tabla 7. Continuación



Nota: Descripción de las actividades a realizar y de los materiales a emplear para la Rehabilitación y recuperación de áreas: obras para contrarrestar procesos de erosión, por Ramos y Rincón, 2020.

Tabla 8. Clasificación de residuos.

Ficha 4: Clasificación de los residuos	
Objetivos: 1. Mejorar la disposición de los residuos sólidos, reciclables y peligrosos producidos en el predio y plantación. 2. Disminuir la contaminación del suelo y los recursos hídricos a partir de estrategias internas que mejoren la disposición de los residuos en la finca.	
Estrategias para la implementación Definir qué clase de residuos se generan en el predio teniendo en cuenta el siguiente criterio: la basura es todo aquel producto derivado de las actividades humanas que se requiere desechar o eliminar. Normatividad y documentos técnicos para la revisión: • Constitución Política de Colombia (en sus artículos: 48, 78, 79, 80 y 366). • Ley 142 de 1994: Define los residuos especiales, los criterios de identificación, tratamiento y registro. • Documento CONPES 2750 de 1994: Políticas sobre manejo de residuos sólidos. • Decreto 4741 de 2005: Residuos peligrosos. • Proyecto de Ley No. 04 de 2007: Por medio de la cual se instrumenta la cultura de basura cero. • Ley 1252 de 2008: Residuos peligrosos.	

Tabla 8. Continuación

- Proyecto de Acuerdo No. 071 de 2010: Incentivar, motivar, sensibilizar y actuar responsablemente para reciclar todos los residuos sólidos desde la fuente a partir de “Puntos ecológicos”. Aunque es específica de la ciudad de Bogotá, presenta un marco general en el tema que vale la pena retomar en esta guía. - Decreto 2981 de 2013: Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Otros documentos para el gremio palmero: - ICONTEC (2009), Guía Técnica Colombiana GTC 24: “Gestión Ambiental Residuos Sólidos. Guía para la separación en la fuente”; Bogotá, Colombia 2009. - Cenipalma (2011), Boletín Técnico No. 30 “Caracterización y subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite”; Bogotá. - Cenipalma (2011), Boletín Técnico No. 31 “Compostaje la agroindustria de palma de aceite en Colombia”; Bogotá.	
Para generar un adecuado manejo y disposición de los residuos generados en la finca, se propone la construcción de un plan de manejo de residuos, siguiendo estos lineamientos y sugerencias: Clasifique los residuos de acuerdo a su composición (orgánicos, inorgánicos o peligrosos) y origen, seguidamente diligencie el cuadro de clasificación de residuos que se propone en el Anexo H, de esta ficha, así tendrá un panorama claro de los desechos que genera en su finca y su composición.	
Clasificación de los Residuos según su composición	
Residuos orgánicos: desecho de origen y composición biológico, que fue parte de un organismo vivo o un organismo vivo en si, por ejemplo: hojas y ramas secas, cáscaras de frutas y verduras y residuos de transformación de alimentos del hogar, etc (Green Drinks, 2017). Estos residuos suponen un importante aporte de nutrientes y fertilidad para los cultivos disminuyendo el uso de abonos químicos que producen contaminación de las aguas y suelos.	 orgánico
Residuos inorgánicos: Son aquellos desechos no biológicos, sino industriales o derivado de algún proceso de transformación antrópico, por ejemplo: telas sintéticas, vidrio, plástico, papel, chatarra, metal, envoltorios y envases. Estos residuos no se descomponen fácilmente y sufren ciclos de degradación muy largos (Green Drinks, 2017).	 inorgánico
Residuos peligrosos: “El Decreto 4741 de 2005, unificado en el año 2015 en el Título 6 del Decreto 1076, define a los residuos peligrosos como aquellos residuos o desechos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radioactivas pueden causar riesgos, daños o efectos no deseados, directos o indirectos, a la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo peligroso a los empaques, envases y embalajes que estuvieron en contacto con ellos” (SIAC, 2020).	 Residuos Peligrosos

Tabla 8. Continuación

Estrategias de Monitoreo			
Teniendo en cuenta que es necesario realizar seguimiento al cumplimiento de lo relacionado con adecuado manejo y disposición de residuos dentro de los diferentes predios, se propone la siguiente matriz de seguimiento:			
Tiempos	Manejo de residuos	Indicadores	Resultados esperados
Corto plazo (a partir de los 6 meses y mediciones anuales)	Identificación y clasificación de residuos	% de cantidad de residuos generados en el hogar y plantación (mensuales y anuales)	Reducción de residuos
Mediano plazo (a partir de los 3 años y mediciones cada 2 años)	Gestión de empresa o persona para entregar residuos agroquímicos	Número de capacitaciones generadas en el interior del predio para trabajadores en temas de manejo adecuado de residuos	Adecuado manejo de residuos como una política laboral y buena práctica adoptada en la plantación
Largo plazo (a partir de los 5 años y mediciones cada 2 años)	Implementación de puntos ecológicos y compostaje	Cantidad de estrategias de manejo de residuos usadas	Mitigación de la contaminación del suelo y cuerpos de agua
Los desechos y residuos que generamos a diario tienen un periodo corto de producción y consumo, más no de descomposición y degradación, lo cual, implica ser responsables en su manejo y disposición. De este modo, se propone generar internamente en las fincas palmeras estrategias para promover las tres erres ecológicas: Reducir, reutilizar y reciclar. Algunos datos sobre el tema: • El PET (Polietilén Tereftalato) es uno de los plásticos con mayor porcentaje de recuperación y reciclaje en Colombia. Más de 1.500 millones de botellas de PET se generan por año, de las cuales se recupera el 20% (El Colombiano, 2015). • En el país se generan aproximadamente 9.488.204 toneladas de residuos sólidos al año, de los cuales, se están reciclando aproximadamente 1,775.191 ton/año que corresponde principalmente a materiales como el vidrio, cartón, papel chatarra y plástico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).			

Tabla 8. Continuación

De acuerdo a su composición química, los residuos pueden tardar largos periodos en degradarse, razón por la cual debemos ser racionales en su consumo. En la siguiente ilustración puede apreciarse algunos ejemplos de desechos que requieren de largo tiempo para descomponerse en su totalidad.

**Figura 11.** Tiempo de degradación de residuos cotidianos (Fuentes, 2018)

Las estrategias pueden ser:

Existen diferentes estrategias para manejar los residuos (pacas biológicas, lombricultivos y artesanías), pero esta guía ahondará sólo en dos de ellas: el establecimiento de puntos ecológicos y compostajes.

En tanto, es necesario sugerir que los residuos peligrosos pos consumo de agroquímicos, deben entregarse a los diversos gestores que confluyen en la región oriente (Campo Limpio y Bioentorno), de manera directa o a través de la empresa ancla (Unipalma, Hacienda La Cabaña y Manuelita Aceites), quien al orientar manejos agronómicos y fitosanitarios de los predios, juega un papel fundamental en la gestión de estrategias de adecuado manejo de residuos peligrosos y fomento de buenas prácticas para el manejo de agroquímicos, especialmente de insecticidas y fungicidas.

En la siguiente ilustración puede visualizarse el papel de la empresa ancla como gestora y puente para la adecuada disposición de residuos de agroquímicos producidos por sus proveedores de palma de aceite.

Tabla 8. Continuación

Al respecto, en el país la gestión de residuos pos consumo es un asunto de cumplimiento de responsabilidad social, para lo cual los productores, fabricantes e importadores velan por el ciclo de vida completo de los productos a fin de disminuir los daños adyacentes al ambiental y salud humana (terminación del ciclo de vida útil). La entrega de estos residuos no tendrá ningún costo para el productor, aunque en algunos casos, acarreará el traslado del material a la empresa ancla o directamente a los gestores certificados.

Es necesario recordar, que la incineración de residuos produce sustancias tóxicas como los furanos, dioxinas, gases ácidos, cadmio, plomo, mercurio, gases de efecto invernadero y partículas finas que pueden ser altamente dañinas para la salud humana y el ambiente, porque están compuestas de materiales resistentes a la degradación que tienden a bioacumularse en el cuerpo de las personas. Además, la inadecuada disposición de recipientes de agroquímicos, especialmente de insecticidas y fungicidas, puede contaminar el suelo, los cuerpos de agua o intoxicar animales silvestres, domésticos y niños.



Gráfica 19. Flujograma de la disposición adecuada de residuos peligrosos. Por Ramos & Rincón, 2020.

Tabla 8. Continuación

Establecimiento de puntos ecológicos
Objetivo: Definir una zona especial claramente demarcada y señalizada, para establecer cuatro (4) recipientes para la clasificación de residuos de toda composición.
Nota: Los puntos ecológicos pueden ser adquiridos en el mercado por un valor comercial de entre \$ 350.000 hasta \$ 800.000. Descripción: Se deben establecer cuatro (4) recipientes de acuerdo a la siguiente descripción que presenta el Proyecto de Acuerdo No. 071 de 2010.
El manejo y disposición de residuos a partir de puntos ecológicos debe realizarse: • Retirado de las fuentes de agua o zonas inundables. • Cerca de viviendas y oficinas para facilitar su adecuada disposición. • Contar con capacitación de las personas sobre el manejo de cada uno de los colores de las canecas. • Ubicarse en espacios cubiertos de la lluvia y humedad, pero aireados. • Los recipientes para establecer los puntos ecológicos pueden ser lonas, canecas plásticas o metálicas, llantas, entre otros objetos que permitan la adecuada recolección.
Recipientes de color gris: “Se usa para depositar el papel usado y cartón limpio y seco, puede ser escrito, impreso y roto. Sin mezclas con otros materiales o grasa, agua, sustancias alimentos u otros cuerpos extraños diferentes que lo contaminan. Se debe evitar arrugar el papel. Los cuadernos y libretas de apuntes que ya no se usan ni se necesitan, los sobres (quitándoles la parte de plástico que traen algunos), el papel periódico limpio, las tirillas de los supermercados, las cajas de cereal y el cartón corrugado. No sirve para reciclar papel mojado, grasoso y sucio. Tampoco otras familias como el papel carbón, papel mantequilla, aluminio, higiénico, servilletas, papel de cocina o el celofán. Así como tampoco los papeles que tengan recubrimientos con materiales diferentes al papel mismo como: los plastificados, metalizados u otros diferentes al material de interés. Todos estos residuos van en la caneca de residuos orgánicos” (Proyecto de Acuerdo No. 71 de 2010, 2010). Recipientes de color blanco: “Se depositan botellas y frascos de vidrio verde, ámbar y transparente, los cuales se deben estar totalmente vacíos. No podrán disponerse bombillos, vidrio plano, botellas azules, ni recipientes con tóxicos o veneno. Todos estos residuos van a la caneca de residuos orgánicos o peligrosos” (Proyecto de Acuerdo No. 71 de 2010, 2010). Recipientes de color café oscuro: “Se deben depositar latas de gaseosas y otras bebidas (aluminio), hojalata (de enlatados), las cuales se deben estar vacías” (Proyecto de Acuerdo No. 71 de 2010, 2010). Recipientes de color verde: “En esta caneca van todos los residuos (diferentes al papel, metal y vidrio) y que no son posibles de ser recuperados como: servilletas, papel higiénico, restos de comida, colillas, chicles, cáscaras de frutas, entre otros” (Proyecto de Acuerdo No. 71 de 2010, 2010).

Tabla 8. Continuación

Una opción para la construcción de puntos ecológicos:			
Materiales: Lamina de Zinc, tres estacas de madera, tornillos, taladro, pintura (anticorrosiva, blanca, verde, café oscuro, gris y naranja), cuatro canecas metálicas, se recomienda calibre 16-20, pero puede ser otra que tengan disponible, en todo caso se recomienda que sean del mismo tamaño. Las dimensiones pueden ser las siguientes (elegir la más adecuada):			
Capacidad	Fondo estructura	Alto estructura	Ancho estructura
15 gl	39 cm	170/79 cm	131,5 cm
30 gl	40 cm	170/90 cm	168 cm
55 gl	50 cm	105/105 cm	200 cm
Desarrollo: Se debe verificar que los recipientes se encuentren en buen estado (sin corrosión y limpios). Seguidamente se procede a pintarlos usando inicialmente la pintura anticorrosiva (espere que se seque completamente), posteriormente, aplique la pintura naranja dentro de la caneca y finalmente pinte las canecas de acuerdo a los colores establecidos en la clasificación mencionada. Realice una estructura (en proporción al ancho de las cuatro canecas juntas) con la madera y los tornillos y ubique el techo de zinc. Finalmente coloque una bolsa plástica (se sugiere que sea del color de la caneca) y proceda a realizar la clasificación de residuos de acuerdo a su composición. Cada uno de los recipientes deberá estar plenamente identificado, según el código de colores definido por el ICONTEC en su Norma Técnica Colombiana GTC-24. Nota: se recomienda usar bolsas plásticas de los colores de cada caneca.			
En las siguientes fotografías puede encontrar otras ideas para realizar puntos ecológicos a partir de materiales reciclables:			
			
			
			
. Figura 12. Demostración de tipos de puntos ecológicos (EMAC, 2018)			

Tabla 8. Continuación

Compostaje:	
El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica para obtener tierra con abono natural. Esta transformación se lleva a cabo en las fincas mediante una compostera que no implica ningún esfuerzo eléctrico o gastos significativos para su mantenimiento (Compostadores, s.f.). La basura diaria que se genera en los hogares contiene un 40% de materia orgánica, que puede ser reciclada y retornada a la tierra en forma de humus para las plantas y cultivos. De cada 100 kg de basura orgánica se obtienen 30 kg de compost. De esta manera se contribuye a la reducción de las basuras que se llevan a los rellenos sanitarios, fuentes hídricas y suelo. Al mismo tiempo se consigue reducir el consumo de abonos químicos (Compostadores, s.f.). El compostaje es una excelente estrategia para manejar los residuos orgánicos de la finca que no están siendo utilizados para la alimentación de los animales u otros fines, además, aporta en la fertilidad de las plantas, cultivos o jardines y en este sentido, puede contribuir a reducir lo que se considera como basura (Compostadores, s.f.).	
Elaboración de compostaje: Basados en el Manual de Compostaje del Agricultor FAO, 2013.	
 Gráfica 20.Elementos básicos para elaboración de compostaje Por Ramos & Rincón, 2020.	

Nota: Descripción de las actividades a desarrollar, materiales a emplear y normatividad ambiental que aplica a la clasificación de residuos, por Ramos y Rincón, 2020.

Tabla 9. Cobertura del suelo.

Ficha 5: Cobertura del suelo
Objetivo: Establecer el tipo de cobertura vegetal permanente que se va a plantar alrededor del cultivo de palma para proporcionar las condiciones adecuadas al suelo.
Características: Las buenas prácticas agrícolas contenidas en esta ficha, hacen parte de estrategias que permiten que las propiedades del suelo donde se encuentra el cultivo de palma de aceite, se vean favorecidas con el aporte de nutrientes, maximizando de esta forma el desarrollo del cultivo.

Tabla 9. Continuación

Selección de Cobertura
El kudzú (<i>Pueraria phaseoloides</i>), es una de las pocas leguminosas perennes que se adaptan fácilmente a la variabilidad de condiciones presentes en el trópico húmedo; la cual se destaca por su gran vigor y exuberancia como por sus excelentes cualidades agronómicas y forrajeras (Agreda Turriate, 1986). Una característica del kudzú, es que presenta tallos rastreros, flexibles y de gran crecimiento, alcanzando los 12 metros de largo; estos tallos emiten en cada nudo que se encuentre en contacto con el suelo húmedo, raíces adventicias, donde se forman nuevas plantas que al mismo tiempo emiten nuevos tallos, facilitando la rápida cobertura del suelo y actuando como “abono verde” (Agreda Turriate, 1986).  . Figura 13. Cobertura vegetal de Kudzú (<i>Pueraria phaseoloides</i>) (Silva, Fariñas, & Barrios, 2011)
Actividades a desarrollar
Establecimiento: Inicialmente el crecimiento es lento y la semilla es muy dura, por esto, se debe escarificar (Agreda Turriate, 1986).  Figura 14. Semillas de Kudzú sin escarificar (Silva, Fariñas, & Barrios, 2011) • Escarificación de la semilla: el día anterior a la siembra se ponen las semillas en una vasija con agua en estado de ebullición, se quita del fuego y se deja en remojo hasta el día siguiente que obligadamente debe sembrarse (Agreda Turriate, 1986). • Cantidad: se requieren de 4 a 5 kg de semilla remojada para sembrar una hectárea y de 10 a 20 kg de semilla sin escarificar (Agreda Turriate, 1986). • Siembra: no es necesario arar el suelo. Se realizan surcos superficiales y se deposita la semilla remojada, seguidamente se cubre con un poco de tierra fresca, muy fina y preferiblemente extraída de raíces de kudzú. No será necesario inocular la semilla con <i>Rhizobium</i> (bacteria), porque el suelo posee la cantidad necesaria de nutrientes para un crecimiento inicial y su abastecimiento de nitrógeno, mediante fijación simbiótica (Agreda Turriate, 1986). • Abono: a la siembra se le debe añadir 22 kg/ha/año de fósforo o su equivalente en roca fosfatada de Bayóvar (Agreda Turriate, 1986).

Nota: Descripción de las actividades a desarrollar y materiales a emplear para implementar una correcta cobertura del suelo, por Ramos y Rincón, 2020.

Tabla 10. Fertilización del suelo

Ficha 6: Fertilización del suelo					
Objetivo: Lograr niveles de rendimiento del suelo que contribuyan a la competitividad del cultivo mediante una apropiada fertilización.					
Características: Mediante esta ficha, se pretende presentar una adecuada fertilización para el suelo de cultivos de palma de aceite.					
Actividades a desarrollar					
En el caso del cultivo de palma al ser perenne, el análisis de suelos no es tan preciso para determinar los requerimientos de fertilizantes como en los cultivos anuales. Sin embargo, es posible expresar en g/planta la cantidad de fertilizantes a usar mediante tablas preestablecidas para cada una de las edades en las que se encuentre el cultivo (INIAP, 1979). Para plantaciones de 4 años o más como lo es el caso de Potrero chico, se puede emplear el uso de esta tabla para fertilización en palma de aceite africana:					
Tabla 11.Cantidad de fertilizante g/planta para cultivo de palma de aceite.					
Interpretación del análisis foliar (Hoja No. 17)	Gramos/Planta				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	
	Bajo	500	300	400	300
	Medio	350	150	200	200
	Alto	100	0	0	100
Nota: Cantidad de fertilizante requerido por el cultivo de palma de aceite, por Ramos & Rincón, 2020.					
Para aplicar los fertilizantes a excepción del fosfatado se aplican en corona, variando el radio según de la edad de la planta.					
Tabla 12. Corona de fertilización específica para plantas de 4 años en adelante.					
Edad de la planta		Corona de fertilización			
Más de 4 años		1,5 m – 2,5 m			
Nota: Corona de fertilizante requerido por el cultivo de palma de aceite, por Ramos & Rincón, 2020.					
Fertilizante a usar: El productor encargado debe conocer el historial del manejo del terreno. A partir de ahí se consulta a un técnico que fertilizante recomienda para el tipo de suelo y cultivo, dependiendo de las deficiencias que presente (FAO, 2012). Análisis del suelo: realizado por el técnico con el objetivo de obtener el máximo beneficio productivo, así mismo, disminuir las pérdidas del producto y evitar contaminar el ambiente (FAO, 2012). Aplicación del fertilizante: ✓ Se deben considerar las condiciones climáticas previas y posteriores a la aplicación del mismo, evitando de esta forma las perdidas y la posibilidad de contaminar los cuerpos hídricos cercanos y el suelo (FAO, 2012). ✓ Su aplicación debe ser balanceada (dosis necesaria), evitando enfermedades en el cultivo (FAO, 2012).					

Tabla 10. Continuación

✓ Se escogió aplicar el fertilizante mediante el voleo (manual o mecánico) y este se incorpora al suelo mediante arado, disquera o rastras del terreno (AEFA, 2017). • Almacenamiento de fertilizantes: ✓ En el predio debe existir un lugar específico para almacenar las fertilizantes, el cual, este ventilado y se encuentre bajo llave (FAO, 2012). ✓ Deben estar en completo aislamiento de semillas, forrajes, cosecha y agroquímicos (FAO, 2012). ✓ Se debe señalar el lugar con carteles de advertencia, por ejemplo: VENENOSO, PELIGROSO, NO FUME, NO TOCAR, etc (FAO, 2012). ✓ Fuera del alcance de niños y de animales (FAO, 2012).
 . Figura 15. Correcta disposición para el almacenamiento de fertilizantes (FAO, 2012)

Nota: Descripción de las actividades a desarrollar para la fertilización del cultivo de palma, por Ramos y Rincón, 2020.

Tabla 13. Erradicación y renovación de plantaciones.

Ficha 7: Erradicación y renovación de plantaciones
Objetivo: Emplear los métodos de erradicación y renovación de plantaciones que sean más apropiados, evitando los problemas ambientales y sanitarios, aprovechando el uso de los subproductos sólidos que generan.
Actividades a desarrollar Existen diversos factores que influyen al momento de erradicar palmas, uno de estos es el papel que juega la altura de las palmas, su densidad y la necesidad de mejorar el paisaje, otra razón de gran importancia para erradicar palmas, es la presencia de enfermedades letales como la pudrición del cogollo o la marchitez letal, que requieren erradicar las palmas afectadas o que en algunos casos obligan a los palmicultores a erradicar lotes completos de palma (Mosquera Montoya, Botero Quintero, & Villegas Ochoa, 2009). • Método de erradicación: Existen varios métodos asociados a la erradicación de la palma tales como: quema, aplicación de herbicidas, interplantación, tumbado de estípites con apilado y tumbado de estípites con incorporación, sin embargo, el método seleccionado es el tumbado de estípites con incorporación ya que permite erradicar la palma sin necesidad de alterar los procesos naturales del entorno en gran cantidad, a diferencia de los otros métodos (Mosquera Montoya, Botero Quintero, & Villegas Ochoa, 2009).

Tabla 13. Continuación

- **Tumbe de estípites con incorporación:** Para la realización de este método se requiere tumbar las palmas y picar los estípites en un rango de 2 a 6 meses después de la tumba, esto se lleva a cabo con ayuda de un tractor modificado con un cilindro rotatorio, con el fin de trozar los restos secos y descompuestos (Mosquera Montoya, Botero Quintero, & Villegas Ochoa, 2009).



Figura 16. Tractor en la etapa de erradicación en cultivo de palma por Ramos & Rincón, 2020.

Este método al incorporar los estípites al suelo, permite reciclar nutrientes, se manifiesta que, al implementar la erradicación de esta forma, el potasio puede estar presente de 2 a 7 veces y el nitrógeno de 2 a 4 veces, según requerimientos de la palma durante los dos primeros años, lo cual es conveniente al no tener que implementar fertilizantes químicos (Mosquera Montoya, Botero Quintero, & Villegas Ochoa, 2009).

Algunas estrategias de manejo para esta ficha:

- Los restos de estípite se colocarán en barreras para que inicien su proceso de descomposición y sirvan como abono orgánico.
- Determinar las medidas de manejo al suelo y al material vegetal de descapote una vez removido, que aseguren la conservación del mismo contra la acción erosiva del agua, el viento, el sol y contra riesgos de contaminación durante el tiempo que dure la replantación.
- Establecer medidas de manejo para adelantar una correcta disposición del material sobrante proveniente del descapote, minimizando los efectos sobre el componente físico.
- Las medidas aplicadas al suelo son de vital importancia para la capacidad de CO₂ puesto que parte de la fijación total de carbono en el sistema de cultivo de palma se encuentra tanto en la biomasa aérea del cultivo como en el suelo. Si bien es cierto el cultivo de la palma aceitera tiene un enorme potencial como especie natural de fijación de CO₂ no se debe olvidar que en este sistema es el suelo el elemento que almacena mayor cantidad de carbono.

Nota: Descripción de las actividades a desarrollar para una correcta erradicación y renovación de plantaciones, por Ramos y Rincón, 2020.

2. Conclusiones

El primero objetivo se logró recopilando información acerca del cultivo basándose en los lineamientos estipulados por en Rapid Soil and Terrain Assessment (RASTA) que es una guía útil para la caracterización del suelo y del terreno para lo cual se obtuvieron muestras de capas horizontales, se observó el color en seco y en húmedo, se midió el pH y la resistencia al rompimiento. Se solicitó el histórico de datos y de los procesos productivos que se llevan a cabo en el cultivo y con el fin de realizar una detallada caracterización climatológica de la zona de estudio se hizo uso de las fuentes de información de instituciones académicas que se encargan del manejo y la investigación de información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente, como el IDEAM.

En relación al objetivo dos, se obtuvo que los dos métodos usados para estimar la fijación de CO₂ presentan diferencias significativas, además se identificó que el software arroja datos más elevados en comparación de la ecuación alométrica, puede ser debido a que se consideran otras variables como DAP, salud de la copa, exposición solar y uso del suelo. Además, hay que resaltar la importancia que tuvo haber realizado esta estimación bajo estos dos métodos, ya que permitió obtener datos de estimación de la fijación de CO₂ bajo diferentes variables logrando integrar distintos elementos que son importantes para estimar la biomasa. Esto demuestra que existe un potencial de almacenamiento de carbono en sistemas relacionados con cultivos leñosos siendo una buena alternativa ecológica para mitigar el cambio climático. Se puede considerar el cultivo de palma de aceite como un agroecosistema, debido a su expansión y crecimiento sostenido, igualmente por sus prácticas culturales y de manejo apropiadas.

El tercer objetivo se cumplió realizando 8 (ocho) fichas que proponen Buenas Prácticas Agrícolas, las cuales versan sobre aportes de nutrición, estrategias de monitoreo, recuperación de coberturas y hábitats naturales, rehabilitación y recuperación de áreas, clasificación de los residuos, fertilización del suelo, entre otras alternativas y prácticas convencionales que implementan en las plantaciones que mejoran la productividad del cultivo de palma de aceite.

3. Recomendaciones

Se recomienda hacer uso del Hipsómetro Foresty Pro laser para la toma de las alturas de las palmas sobre todo en áreas abiertas poco densas, ya que es un equipo muy práctico, que permite realizar el muestreo rápidamente en comparación de otros equipos como el Clinómetro.

Se recomienda a próximos estudios en cultivos de palma de aceite u otros, se tenga acceso a toda su área de producción de tal manera que no afecte los procesos productivos del cultivo como el muestreo y así mismo poder realizar un estudio completo y detallado.

Para la estimación de fijación de CO₂ por la palma de aceite se recomienda el uso del software i-Tree Eco porque abarcan una diversidad de variables que permiten que la estimación sea más acertada, ya que las ecuaciones alométricas para esta forma de vida por lo general cuentan con una sola variable la cual es la altura total.

Se recomienda disponer del acompañamiento de personal interno que trabaje en el cultivo y sea capaz de reconocer las rutas de desplazamiento entre los lotes del cultivo para garantizar la efectividad en los procesos de calidad, higiene, seguridad industrial y ambiental.

Se recomienda al finalizar la vida útil de la palma de aceite como en general del cultivo se realice corte de las partes de la palma para conocer su peso en seco y así mismo reportar su densidad básica. Por otro lado, dar a conocer estos resultados para diferentes fines y aumentar la base de datos ya que no se encuentra una densidad teórica.

Finalmente, cuando se vayan a establecer los cultivos de palma de aceite se recomienda que sean en áreas sin cobertura boscosa como pastizales o sabanas, o áreas que hayan sido usados para cultivos ilícitos.

Referencias bibliográficas

- Acosta, M., Carrillo, F., Buendia, E., Etchevers, J., & Díaz, F. (2007). *Determinación de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y carbono en Pinus patula Schl. Et Cham.* México: Madera Bosques 13(1):26-34. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/617/61713103.pdf>
- Adams, D., & Herron, A. (1965). *Produccion Y Consumo de Aceites Vegetales en Colombia.* Bogotá: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas OEA. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=5eQNAQAIAAJ&pg=PP7&dq=Produccion+Y+Consumo+de+Aceites+Vegetales+en+Colombia+Addams,+D;+Herron,+Antonio&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjfnKeCwNLqAhWjm-AKHV0WAoIQ6AEwAXoECAQQAg#v=onepage&q=Produccion%20Y%20Consumo%20de%20Aceites>
- Adger, W., Brown, K., Cervigni, R., & Moran, D. (1995). *Total economic value of forest in Mexico.* Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/4314349>
- AEFA. (2017). *Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes.* Obtenido de Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes: <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/aplicacion-al-voleo>
- Agreda Turriate, O. (1986). Posibilidades de la Utilizacion de Leguminosas Forrajeras Para Mejorar la Productividad Agrícola Y Ganadera en la Selva Peruana. En I. I. Agricultura, *Posibilidades de la Utilizacion de Leguminosas Forrajeras Para Mejorar la Productividad Agrícola Y Ganadera en la Selva Peruana.* Lima, Perú: Bib. Orton IICA / CATIE. Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=3cIOAQAAIAAJ&pg=PA8&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false
- Álvarez, D., Cock, J., & Estrada, M. (2010). *RASTA (Rapid Soil and Terrain Assessment) Guía Práctica para la Caracterización del Suelo y del Terreno.* Versión 2. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Corporación Biotec, CIAT. Obtenido de [https://www.aclimatecolombia.org/download/agricultura-por-sitio/rasta-2011-121116071713-phpapp02\(2\).pdf](https://www.aclimatecolombia.org/download/agricultura-por-sitio/rasta-2011-121116071713-phpapp02(2).pdf)
- Alvarez, S., Ortiz, C., Diaz Pines, E., & Rubio, A. (2013). *Modelización de carbono en suelo y biomasa en bosques del Sistema Central: masas mixtas vs puras.* Madrid, España: Sociedad Española de Ciencias Forestales. Obtenido de <http://oa.upm.es/48631/>
- Aranda Arguello, R., Ley de Coss, A., Arce Espino, C., Pinto Ruiz, R., Guevara Hernández, F., & Raj Aryal, D. (2018). Captura de carbono en la biomasa aérea de la palma de aceite en Chiapas, México. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3).

- ASEMFO. (2004). *Los bosques como sumidero de carbono*. Propuestas de actuación. Informe interno. Obtenido de https://www.aveads.com/descargas/docs/int/Los_bosques_como_sumidero%5B1%5D.pdf
- Atiqul Haq, S. (5 de Julio de 2011). Urban Green Spaces and an Integrative Approach to Sustainable Environment. *Revista de Protección Ambiental*, 2(4), 601-608. Obtenido de <https://www.scirp.org/html/5881.html>
- Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M., & Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*, 8(30). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/288653502_Almacenamiento_fijacion_de_carbono_y_valoracion_de_servicios_ambientales_en_sistemas_agroforestales_en_Costa_Rica
- Ballesteros, M. I., & García, J. (2005). *Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos*. Bogotá: Colomb.Quim. vol.34 no.2. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/13329/1/820-4921-1-PB.pdf>
- Benavides Ballesteros, H., & León Aristizabal, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales . Subdirección de meteorología . Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- Benjamín Ordóñez, J. A. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf>
- Blanco , R., & Cuevas, S. (2002). *La importancia de la maquinaria para la poda y manejo de restos*. 56- 58. Obtenido de http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf
- Borrero, C. A. (2017). *InfoAgro*. Obtenido de El cultivo de la palma de aceite(*Elaeis guineensis* Jacq.): https://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_aceite.htm
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2004). *Elements of the Nature and Properties of Soils*. Pearson Prentice Hall. N.J. Obtenido de https://scholar.google.com.co/scholar?q=Elements+of+the+Nature+and+Properties+of+Soils&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar
- Cadavid, Carlos, Góez , E., Machado, J., & Gómez , E. (2005). *Caracterización y cuantificación de las áreas degradadas de las oficinas territoriales cartama y citara*. Medellín: Corporación autónoma regional del centro de Antioquia. Obtenido de http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/SUELO/AIRNR_CN_5768_2004.pdf
- Camargo, J. C., Rodríguez, J. A., & Arango, A. M. (1994). Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*,

- 86(61). Obtenido de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11199e/A11199e.pdf>
<http://hdl.handle.net/11554/5987>
- Castilla, C. (2004). *Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia*. Revista Palmas, 25 (Especial). Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1101>
- Castro Dousdebis, V. (2010). *Palma de aceite en el departamento del meta*. Villavicencio: Universidad de los llanos, programa de mercadeo agropecuario. Obtenido de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6559/1/093.pdf>
- Chávez M, F. (2003). Manual del cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.): para la zona noroccidental del Ecuador. En F. Chávez M, *Manual del cultivo de palma aceitera (Elaeis guineensis jacq.): para la zona noroccidental del Ecuador* (págs. 44-45). Ecuador: INIAP. Obtenido de https://books.google.com.co/books/about/Manual_del_cultivo_de_palma_aceitera_Ela.html?id=CnszAQAAMAAJ&redir_esc=y
- Compagnucci, R. (2011). Historia del Cambio Climático o Calentamiento Global. *Contribuciones Científicas GAEA*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11336/15942>
- Compostadores. (s.f.). *Compostadores - Sostenibilidad en estado puro*. Obtenido de Compostadores - Sostenibilidad en estado puro: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/que-es-el-compostaje.html>
- Corley, R. H., & Tinker, P. B. (2003). *"The Oil Palm"*. Reino Unido: World Agriculture series. Ed. Blackwell Science. 4ª Edición. Obtenido de <https://www.wiley.com/en-us/The+Oil+Palm%2C+5th+Edition-p-9781405189392>
- Crosara, A. (2002). *Color del suelo*. Obtenido de edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%202.pdf
- Dejtiar, F. (30 de Noviembre de 2018). *ArchDaily Colombia*. Obtenido de <https://www.archdaily.co/co/905445/guia-de-equipamiento-para-la-construccion-herramientas-equipos-y-maquinarias>
- Domínguez, A. (2016). *Estimaciones de Captura de los Parques y Emisiones de CO2 Vehicular en Tijuana, B.C.* Tijuana, B.C., México: El Colegio de la Frontera Norte: Tesis para obtener el grado de maestra en Administración Integral Del Ambiente. Obtenido de <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Dom%C3%ADnguez-Madrid-Ana-Yurendy.pdf>
- El Colombiano. (2015). *El Colombiano: Exporesiduos 2015, aprendizaje y negocios*. Obtenido de El Colombiano: Exporesiduos 2015, aprendizaje y negocios: <https://www.elcolombiano.com/empresas-en-accion/exporesiduos-2015-aprendizaje-y-negocios-JH1922487>

- EMAC. (26 de Noviembre de 2018). *Puntos Ecológicos*. Obtenido de <http://www.emacsaesp.gov.co/index.php/actualidad/en-ejecucion/puntos-ecologicos>
- FAO. (2000). *Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂*. Rome: World Soil Resources Reports 88. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-x4590s.pdf>
- FAO. (2012). *Manuel de Buenas Prácticas Agrícolas para el productor Hortofrutícola*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-as171s.pdf>
- Fedepalma. (2016). La palma de aceite, una agroindustria eficiente, sostenible y mundialmente competitiva. *PALMAS*, 1-300. Obtenido de http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/palmas_tomoI.pdf
- Fedepalma. (23 de Junio de 2016). Palma de aceite en el departamento de Cundinamarca. (A. d. UN, Ed.) *Publicaciones de Fedepalma*, 1. Obtenido de <http://web.fedepalma.org/palma-de-aceite-captura-co2-un>
- Fedepalma. (2018). La palma de aceite en Colombia. *Publicaciones de Fedepalma*, 1. Obtenido de <http://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos>
- Fernandez, F. (1996). "*Manual de Climatología aplicada*", "*Clima, medio ambiente y planificación*". Espacios y sociedades. España: Serie mayor No. 2. Obtenido de https://books.google.com.co/books/about/Manual_de_climatolog%C3%ADa_aplicada.html?id=_YFOAAAACAAJ&redir_esc=y
- Flechas Robles, L. A. (2014). *Análisis de pre-factibilidad de un cultivo de palma aceitera en el municipio de albania – la guajira*. Colegio Mayor De Nuestra Señora Del Rosario. Bogotá: Facultad De Economía -Especialización En Evaluación y Desarrollo de Proyectos. Obtenido de <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/9640/84009634-2014.pdf?sequence=6>
- Francesc, B., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D., & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: The case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambi*, 43(4), 466-479.
- Fuentes, C. (15 de Febrero de 2018). *Reciclación*. Obtenido de Tiempo de degradación de los residuos: <https://www.reciclacion.cl/noticias/tiempo-de-degradacion-de-los-residuos-2/>
- Garden, H. (12 de Abril de 2016). *Ecohortum*. Obtenido de Agricultura ecológica: <https://ecohortum.com/herramientas-cultivo-cuales-las-mas-importantes/>
- Giraldo, D., Nieto, V., Sarmiento, M., & Borralho, N. (2014). *Estimación indirecta de la densidad de la madera mediante el uso de pilodyn en la selección de clones de Ecucalyptus pellita F. Muell.* Colombia: Forestal. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v17n2/v17n2a05.pdf>

- GOH, K. J. (2000). "*Climatic requeriments of the oil palm for high yields: agronomic principles*". Surveys, Kuala Lumpur: Malasyan Society of Soil Science and Parameters Agriculture. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=MY2014001565>
- Gómez, L., & Medina, M. d. (2012). *Guía de Métodos Estadísticos en Climatología*. México: Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Obtenido de <http://ru.ffyl.unam.mx/handle/10391/3698>
- González , M. (2008). *Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi H. E. Moore, Pinus oocarpa var. ochoterenai Mtz. y Quercus sp. en el norte del estado de Chiapas, México*. Turrialba, Costa Rica.: Tesis de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11554/1699>
- Gonzalo Duque, E. (Junio 5 de 2011). *Calentamiento Global en Colombia*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Green Drinks. (17 de julio de 2017). *Green Drinks CBA - Argentina*. Obtenido de Green Drinks CBA - Argentina: <http://greendrinkscba.org/residuos-inorganicos/>
- Henson, I. E., & Chang, K. C. (2010). *Evaluación del impacto de la producción de aceite de palma sobre el calentamiento global (II) Modelo para un cultivo individual*. The Planter.
- Hormaza, P., Forero, D., Ruiz, R., & Romero , H. (2010). *Fenología de la Palma de Aceite Africana (Elaeis Guineensis Jacq.) y del Híbrido interespecifico (Elaeis oleifera [Kunt] Cortes x Elaeis guineensis Jacq.)*. Bogotá D.C: Cenipalma.
- ICAFE. (2011). Obtenido de <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- IDEAM. (2011). *Sistemas agroforestales y restauración ecológica como medidas de adaptación al cambio climático en alta montaña, Caso piloto, Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Bogotá: INAP.
- IDEAM. (2017). Resultados Monitoreo de la Deforestación. *Centro de Documentación e Información Científico Técnica*, 45.
- IDEAM. (2018). *Tasa anual de deforestación según departamento, 2016-2017*. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental - Grupo de Bosques. Bogotá D.C.: Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono.
- IICA. (2016). *Guia Tecnica para el Cultivo de Palma Africana*. (I. I. Agricultura, Ed.) Nicaragua.
- INIAP. (1979). Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos de ecuador. En I. N. Agropecuarias, *Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos de ecuador*. INIAP Archivo Historico.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2019). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudad>
- IPCC. (2001). *Tercer Informe de Evaluación sobre el Cambio Climático. Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Ginebra: Cambridge University Press.
- i-Tree Eco . (6 de 10 de 2019). *i-Tree Eco v6*. Obtenido de i-Tree Eco: <https://www.itreetools.org/home-es/tools-es/i-tree-eco-es>
- Khasa, D., & Chang, S. (2013). *Chapter Five - Carbon Sequestration in Agroforestry Systems*. Springer Science+Business Media Dordrecht, Tropical Agroforestry.
- Kirby, K. R., & Potvin, C. (2007). *Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project*. Panamá Management.: Forest Ecology and.
- Lara González, J. D. (2008). El Fenómeno. *Elementos: Revista de Ciencia y Cultura*, 45-48. Obtenido de <https://elementos.buap.mx/post.php?id=440>
- León Plazas, M. (2017). *Identificación de buenas prácticas de calidad en la labor de poda en un cultivo de palma de aceite en el municipio de San Carlos de Guaroa, departamento del Meta - Colombia*. Bogotá D.C.: Universidad militar nueva granada.
- Marcos, J., Sánchez, L., Docampo, M., Ortiz, J., & Martínez, S. (2016). *Empleo de la fotogrametría de rango cercano y RPAs para la determinación de biomasa en parcelas agrícolas*. Porto, Portugal.
- Martinez, E. E. (2019). Taller "Capacitación del Programa I-Tree una herramienta para el estudio y valoración del bosque urbano". *Centro de excelencia virtual y monitoreo forestal en mesoamérica*, <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/taller-i-tree/>.
- Maser, O. E., Garza-Caligaris, J. F., Kanninen, M., Karjalainen, T., Liski, J., Nabuurs, G. J., . . . Mohren, G. M. (2003). *Modelización del secuestro de carbono en proyectos de forestación, agroforestería y manejo forestal: el enfoque CO2FIX V.2* (Vol. 164). Modelación Ecológica.
- Masera, O., Bellón, M., & Segura, G. (1995). *Forest management options for sequestering carbon in Mexico*. Bioener.
- Matiz, A. J., Arciniegas, E., Arias, C. H., & Ruiz, A. (2013). *Proyecto sistemas de información geográfica municipal*. Paratebueno-Cundinamarca: Ministerio de agricultura y desarrollo rural.
- Medina Mateos, J., & Martínez Osés, P. (2014). *Formación de un panel internacional para la erradicación de la pobreza y la desigualdad - Aprendizajes a partir del Panel Intergubernamental de Cambio Climático*. Madrid: Informes de IPCC.

- Melado Herreros, A. (2008). *Modelo de cultivo de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) EN honduras*. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- Mendez, M. (2014). Los bonos de carbono, una oportunidad para Colombia. *Twenergy*. Obtenido de https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/233/7/MendezMateo_2013_BonosCarbonoImpacto.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (15 de mayo de 2015). *Colombia celebra Día Mundial del Reciclaje*. Obtenido de Colombia celebra Día Mundial del Reciclaje: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/1793-colombia-celebra-dia-mundial-del-reciclaje>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *www.minambiente.gov.co*. Recuperado el 30 de 03 de 2019, de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=462:plantilla-cambio-climatico-18>
- Ministerio del Ambiente. (2009). *¿Qué es el Cambio Climático?* Lima, Perú: Impresiones Kerigma.
- Miranda Ruiz, E. (2012). *Aprovechamiento y efecto del escobajo de palma aceitera (Elaeis guineensis, Jacq), como fuente orgánica en plantaciones de 7 años, en la producción de racimo fresco en el distrito de Campo Verde - Región Ucayali*. El Cid Editor | apuntes. Obtenido de https://books.google.com.co/books/about/Aprovechamiento_y_efecto_del_escobajo_de.html?id=m4qctAEACAAJ&redir_esc=y
- Montagnini, F., & Nair, P. (2004). *Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems*. Agroforest. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2424-1_20
- Montealegre, J. E. (1990). *Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos*. Bogotá D.C: IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>
- Montoya , G., Soto , L., Jong, B., K. N., Farias, P., Yakactic, P., & Taylor, J. (1995). *Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas*. Instituto Nacional de Ecología - ECOSUR. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/242232842_Desarrollo_forestal_sustentable_Captura_de_carbono_en_las_zonas_tzeltal_y_tojolabal_del_estado_de_Chiapas
- Mosquera Montoya, M., Botero Quintero, R. J., & Villegas Ochoa, R. (2009). Consideraciones sobre erradicación de palma de aceite en Colombia. *PALMAS*, 1-9. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1433>

- Mujica Granados, C. (2010). *Evolución del Sector Palmicultor*. Bucaramanga: Universidad de Investigación y Desarrollo. Obtenido de <https://www.udi.edu.co/images/investigaciones/publicaciones/libros/porter/08/Libro-EvoluciondelSectorPalmicultor.pdf>
- Munévar M, F. (2004). Criterios agroecológicos útiles en la selección de tierras para nuevas siembras de palma de aceite en Colombia. *PALMAS*, Vol. 25 No. Especial, Tomo II. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1077>
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Nair, P., Nair, V., Kumar, B., & Haile, S. (2009). *Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal*. Environmental Science Policy. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462901109000215>
- Navas, C. (2001). *Bibliografía sobre: Palma Africana (Elaeis guineensis)*. Ecuador: CINiAP. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/236852440_Tecnologia_agronomica_de_la_palma_aceitera_Elaeis_guineensis_Jacq_y_manejo_integrado_de_su_defoliador_Opsiphane_s_cassina_Felder_Lepidoptera_Brassolidae_en_plantaciones_comerciales_del_estado_Monagas_V
- Nikon. (2019). *Manual técnico del equipo Hipsómetro Laser Foresty Pro* . España.
- Ocampo Durán, A. (1999). Las palmas, una estrategia de vida tropical. *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*(61-73), 15. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CO20030007917>
- OIT. (2011). Seguridad y salud en la agricultura. Ginebra. Obtenido de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/normativeinstrument/wcms_161137.pdf
- Pimienta de la Torre, D., Domínguez, G., Aguirre , Ó., Hernandez, F., & Jiménez, J. (2007). *Estimación de biomasa y contenido de carbono de Pinus Cooperi Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango*. Durango, México.: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712007000100035
- Proyecto de Acuerdo No. 71 de 2010. (2010). *Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.* Obtenido de Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38899>
- Ramos, G., Ley de Coss, A., Escobar, J., Arce-Espino, C., Raj , D., Pinto , R., . . . Guerra, C. (2019). *Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono alometric equations for estimating biomass and carbon in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) in the humid tropic of*

- Chiapas, Mexico. México: Agrociencia 52(5). Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n5/2521-9766-agro-52-05-671-en.pdf>
- Raygada, R. (2005). *Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera*. Perú: Comisión nacional para el desarrollo y vida sin drogas. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/261044832_Manuel_tecnico_de_palma_aceitera_Elaeis_guineensis_en_Honduras
- Rivas, D. (2018). *i-Tree Análisis del ecosistema DiCiFo (Chapingo)*. México: <http://www.rivasdaniel.com/pdf/i-TreeDiCiFo.pdf>.
- Ruiz , E., & Molina, D. (2014). Revisión de literatura sobre beneficios asociados al uso de coberturas leguminosas en palma de aceite y otros cultivos permanentes. *Palmas*, 35(53-64). Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10947>
- Salinas, Z., & Hernández, P. (2008). *Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía*. Turrialba, Costa Rica.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Obtenido de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/2259>
- SIAC. (25 de Febrero de 2020). *Sistema de Información Ambiental de Colombia*. Obtenido de Sistema de Información Ambiental de Colombia: <http://www.siac.gov.co/residuos peligrosos>
- Silva, R., Fariñas, J., & Barrios, R. (2011). *SciELO*. Obtenido de Comportamiento de cinco especies de leguminosas como cobertura viva en palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000200004
- Torrado, C. (2011). *Plan de Manejo Ambiental del Cultivo de Aceite de Palma Organico en la Finca Gavilan*. El Reten, Magdalena: C.I. TEQUENDAMA S.A. Obtenido de <http://portal.daabon.com.co/oldaabon/rsc/docs/sostenibilidad/GavilanFarmSEIA2006.pdf>
- Torres, J. M., & Guevara, A. (2002). *El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico*. Gaceta Ecológica - DIALNET. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906303.pdf>
- Turner, T., & Gillbanks, R. (2013). *Oil palm cultivation and management*. Inc. Society of Planter: Kuala Lumpur:. Obtenido de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19750328044>
- Viscarra, S. (1998). *Guía Practica para el Secado de Madera en Hornos*. Santa Cruz, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Obtenido de https://www.academia.edu/7612810/GUIA_PARA_EL_SECADO_DE_LA_MADERA_EN_HORNOS
- Weissert, L. F., Salmond, J. A., & Schwendenmann, L. (2014). *A review of the current progress in quantifying the potencial of urban forests to mitigate urban CO2 emissions*. Elsevier:

Urban Climate, Vol 8, pag. 100-125. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095514000030>

wikiHow. (s.f.). *WikiHow*. Obtenido de Cómo hacer composta: <https://es.wikihow.com/hacer-composta>

Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., . . . Ordoñez, M. F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia*. Bogotá D.C. Colombia: IDEAM - Insitute de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Protocolo+para+la+estimaci%C3%B3n+nacional+y+subnacional_1.pdf/11c9d26b-5a03-4d13-957e-0bcc1af8f108

Anexos

Anexo A. Fijación realizada por las 54 palmas de aceite correspondientes del Lote Las 23.

LOTE LAS 23

PALMA #	DAP (cm)	ALTURA (m)	CONDICIÓN (%)	LÚZ (%)	CARBONO ALMACENADO (Kg)	% DEL TOTAL	CO ₂ CAPTURADO (Kg)
1	96,1295856	8,66	100	2	29,3	0,9	107,531
2	84,35	7,6	100	1	22,3	0,7	81,841
3	76,39	7,4	90	1	19,2	0,6	70,464
4	92,31	9,13	100	1	31,1	0,9	114,137
5	79,58	8	100	2	24,3	0,7	89,181
6	70,03	6,73	100	2	16,6	0,5	60,922
7	89,13	6,6	90	1	16,1	0,5	59,087
8	60,48	6,4	90	2	13,4	0,4	49,178
9	85,94	7,86	95	2	23,5	0,7	86,245
10	87,54	8,86	90	1	27,1	0,8	99,457
11	93,58	6,72	90	1	16,5	0,5	60,555
12	89,45	9,2	90	1	29,5	0,9	108,265
13	79,58	8,16	98	2	24,4	0,7	89,548
14	77,99	6,56	95	2	16,1	0,5	59,087
15	76,39	7,8	100	2	23	0,7	84,41
16	78,30	8,23	98	2	24,4	0,7	89,548
17	69,39	6,8	98	1	16,6	0,5	60,922
18	80,21	7,23	95	2	19	0,6	69,73

19	76,08	8,56	90	1	24,9	0,8	91,383
20	87,85	8,48	95	2	26,6	0,8	97,622
21	101,859164	9	100	1	31,9	1	117,073
22	83,7155001	9,4	90	1	31,3	0,9	114,871
23	89,445078	10	95	1	34,8	1,1	127,716
24	71,6197244	8,6	95	1	24,9	0,8	91,383
25	73,2112738	8,2	95	1	23,4	0,7	85,878
26	92,309867	10,8	95	1	39,5	1,2	144,965
27	100,267614	11	90	1	42,9	1,3	157,443
28	95,4929659	11,8	98	1	45,2	1,4	165,884
29	86,2619792	11	100	2	40,4	1,2	148,268
30	90,7183176	7,6	100	2	22,8	0,7	83,676
31	88,4901484	7,4	100	2	21,6	0,7	79,272
32	85,3070495	10,2	100	2	35,5	1,1	130,285
33	82,7605704	10,4	90	1	35,9	1,1	131,753
34	95,174656	8,2	100	2	26,7	0,8	97,989
35	89,445078	9,6	100	1	33,5	1	122,945
36	94,5380362	8,8	100	2	29,8	0,9	109,366
37	89,1267681	9,8	100	2	34,5	1	126,615
38	80,5324012	8,46	98	2	26,2	0,8	96,154
39	80,5324012	10	90	2	32,6	1	119,642
40	82,1239506	9,6	95	1	32,3	1	118,541
41	100,267614	11,6	90	1	46,2	1,4	169,554
42	103,450713	12	98	1	47,8	1,4	175,426
43	92,309867	10,2	95	1	34,7	1	127,349
44	94,2197263	10,4	90	1	37,9	1,1	139,093

45	79,2591617	9,4	100	1	30,2	0,9	110,834
46	80,2140913	10	100	1	33,2	1	121,844
47	70,9831046	8	100	1	23,2	0,7	85,144
48	84,9887396	8,4	100	2	26,9	0,8	98,723
49	88,1718385	8,8	100	1	28,6	0,9	104,962
50	77,0309925	9,8	90	2	31,5	1	115,605
51	84,3521198	9,7	90	2	32,1	1	117,807
52	69,0732453	7,6	100	2	21,3	0,6	78,171
53	78,304232	8,8	98	2	27,4	0,8	100,558
54	69,7098651	7,6	96	2	21,3	0,6	78,171
TOTAL					1531,9	45,5	5622,073

Anexo B.Fijación realizada por las 31 palmas de aceite correspondientes del lote Las Marraneras.

LOTE LAS MARRANERAS

PALMA	DAP (cm)	ALTURA	CONDICIÓN	LÚZ	CARBONO ALMACENADO	% DEL	CO ₂ CAPTURADO
#		(m)	(%)	(%)	(Kg)	TOTAL	(Kg)
21	82,76	9,8	100	1	33,3	1	122,211
22	70,66	9,4	100	1	29,1	0,9	106,797
23	59,21	9,7	98	2	28,6	0,9	104,962
24	86,26	6,2	98	1	15,2	0,5	55,784
25	73,21	5,2	97	1	10,4	0,3	38,168
26	82,76	7,13	95	2	19,5	0,6	71,565
27	98,68	8,3	95	2	27,2	0,8	99,824
28	84,35	7,5	90	1	20,1	0,6	73,767
29	88,49	7,73	98	3	22,8	0,7	83,676
30	80,85	6,26	100	2	15,2	0,5	55,784
31	76,39	8,34	98	2	25,7	0,7	94,319
32	85,63	7,6	98	2	21,7	0,7	79,639
33	76,39	9,5	90	1	28,9	0,9	106,063
34	71,94	6,7	90	1	15,4	0,5	56,518
35	76,71	8,13	95	2	24	0,7	88,08
36	89,13	7,68	98	2	22,8	0,7	83,676
37	77,67	9,2	100	2	29,2	0,9	107,164
38	81,17	8,49	90	1	26,6	0,8	97,622
39	87,85	6,89	95	2	17,9	0,5	65,693
40	73,85	5,4	95	1	10,5	0,3	38,535
41	79,5774715	10,4	100	1	35,5	1,1	130,285

42	84,3521198	6,6	100	1	17	0,5	62,39
43	73,2112738	10,8	90	1	36,3	1,1	133,221
44	83,7155001	8	100	1	24,8	0,8	91,016
45	77,9859221	10	100	1	33,2	1	121,844
46	84,6704297	8,6	100	1	27,7	0,8	101,659
47	63,0253575	10,6	90	2	34,1	1	125,147
48	70,028175	10,6	90	2	35	1,1	128,45
49	65,8901464	8,6	95	2	24	0,7	88,08
50	73,8478936	8	90	1	22,6	0,7	82,942
51	87,5352187	7,8	90	1	23,5	0,7	86,245
TOTAL					757,8	23	2781,126

Anexo C. Fijación realizada por las 43 palmas de aceite correspondientes del Lote Macho Muerto.

LOTE MACHO MUERTO

PALMA #	DAP (cm)	ALTURA (m)	CONDICIÓN (%)	LÚZ (%)	CARBONO ALMACENADO (Kg)	% DEL TOTAL	CO ₂ CAPTURADO (Kg)
52	72,26	5,9	95	2	12,2	0,4	44,774
53	84,35	5,2	95	2	10,5	0,3	38,535
54	80,21	6,1	90	2	13,2	0,4	48,444
55	104,09	6	98	2	15,2	0,5	55,784
56	84,35	5,8	100	2	13,5	0,4	49,545
57	92,63	6,7	100	1	17,9	0,5	65,693
58	81,17	7	100	2	19	0,6	69,73
59	87,22	6,6	100	1	17	0,5	62,39
60	98,68	7,8	90	2	23,9	0,7	87,713
61	82,12	6,4	100	1	16,1	0,5	59,087
62	84,3521198	10,2	100	2	35,5	1,1	130,285
63	71,9380343	10,6	100	2	35,6	1,1	130,652
64	76,7126826	10,75	100	2	38	1,1	139,46
65	72,8929639	8,93	98	2	26,2	0,8	96,154
66	86,580289	7,2	90	1	19,5	0,6	71,565
67	59,2056388	8,06	95	2	21,1	0,6	77,437
68	64,298597	8	90	1	22,2	0,7	81,474
69	63,3436674	10,5	98	2	33,5	1	122,945
70	73,5295837	9,33	95	2	28	0,8	102,76
71	67,8000058	8,8	90	1	23,9	0,7	87,713

72	85,3070495	8	98	2	24,8	0,8	91,016
73	76,7126826	9	95	2	27,6	0,8	101,292
74	57,2957795	7,8	100	1	20,6	0,6	75,602
75	72,8929639	8,2	98	1	23,4	0,7	85,878
76	74,4845134	9,4	98	1	30,2	0,9	110,834
77	78,6225419	8,2	95	2	24,4	0,7	89,548
78	63,6619772	8,8	90	1	24,8	0,8	91,016
79	82,7605704	8,2	95	1	25,5	0,8	93,585
80	73,2112738	9,4	100	2	29,1	0,9	106,797
81	87,8535286	8,2	100	1	26,2	0,8	96,154
82	70,028175	8,4	98	2	24,7	0,7	90,649
83	79,5774715	9	98	2	27,6	0,8	101,292
84	63,6619772	10,2	97	1	31,7	1	116,339
85	73,2112738	7,2	95	1	18,6	0,6	68,262
86	79,5774715	7,4	95	2	20,1	0,6	73,767
87	85,9436693	9,2	90	1	30,3	0,9	111,201
88	73,2112738	7,8	98	2	22,5	0,7	82,575
89	69,0732453	7,8	100	1	22,5	0,7	82,575
90	79,5774715	9,2	98	1	28,6	0,9	104,962
91	66,8450761	8,2	98	1	22,4	0,7	82,208
92	70,028175	8,6	90	1	24,9	0,8	91,383
93	73,2112738	8,8	90	2	26,4	0,8	96,888
94	67,8000058	6,8	95	1	16,6	0,5	60,922

TOTAL	1015,5	30,8	3726,885
--------------	---------------	-------------	-----------------

Anexo D. Resultados obtenidos de la ecuación alométrica.

Lote Las 23			Lote Las Marraneras			Lote Macho Muerto		
H (m)	C	CO ₂	H (m)	C	CO ₂	H (m)	C	CO ₂
8,66	9,94	36,47	9,8	11,55	42,39	5,9	6,23	22,85
7,6	8,48	31,10	9,4	10,98	40,30	5,2	5,34	19,59
7,4	8,20	30,11	9,7	11,41	41,87	6,1	6,48	23,80
9,13	10,60	38,89	6,2	6,61	24,27	6	6,35	23,32
8	9,02	33,11	5,2	5,34	19,59	5,8	6,10	22,38
6,73	7,31	26,82	7,13	7,84	28,78	6,7	7,27	26,68
6,6	7,14	26,19	8,3	9,44	34,63	7	7,67	28,14
6,4	6,87	25,23	7,5	8,34	30,61	6,6	7,14	26,19
7,86	8,83	32,40	7,73	8,65	31,75	7,8	8,75	32,10
8,86	10,22	37,49	6,26	6,69	24,56	6,4	6,87	25,23
6,72	7,30	26,77	8,34	9,49	34,83	10,2	12,13	44,51
9,2	10,70	39,25	7,6	8,48	31,10	10,6	12,71	46,64
8,16	9,24	33,92	9,5	11,12	40,82	10,75	12,93	47,45
6,56	7,08	26,00	6,7	7,27	26,68	8,93	10,31	37,85
7,8	8,75	32,10	8,13	9,20	33,77	7,2	7,94	29,12
8,23	9,34	34,27	7,68	8,58	31,50	8,06	9,10	33,41
6,8	7,40	27,16	9,2	10,70	39,25	8	9,02	33,11
7,23	7,98	29,27	8,49	9,70	35,60	10,5	12,56	46,11
8,56	9,80	35,95	6,89	7,52	27,60	9,33	10,88	39,93
8,48	9,69	35,54	5,4	5,59	20,51	8,8	10,13	37,18
9	10,41	38,22	10,4	12,42	45,58	8	9,02	33,11
9,4	10,98	40,30	6,6	7,14	26,19	9	10,41	38,22
10	11,84	43,45	10,8	13,00	47,72	7,8	8,75	32,10
8,6	9,85	36,16	8	9,02	33,11	8,2	9,30	34,12
8,2	9,30	34,12	10	11,84	43,45	9,4	10,98	40,30

10,8	13,00	47,72	8,6	9,85	36,16	8,2	9,30	34,12
11	13,30	48,80	10,6	12,71	46,64	8,8	10,13	37,18
11,8	14,48	53,15	10,6	12,71	46,64	8,2	9,30	34,12
11	13,30	48,80	8,6	9,85	36,16	9,4	10,98	40,30
7,6	8,48	31,10	8	9,02	33,11	8,2	9,30	34,12
7,4	8,20	30,11	7,8	8,75	32,10	8,4	9,57	35,14
10,2	12,13	44,51	Total	290,81	1067,27	9	10,41	38,22
10,4	12,42	45,58				10,2	12,13	44,51
8,2	9,30	34,12				7,2	7,94	29,12
9,6	11,26	41,34				7,4	8,20	30,11
8,8	10,13	37,18				9,2	10,70	39,25
9,8	11,55	42,39				7,8	8,75	32,10
8,46	9,66	35,44				7,8	8,75	32,10
10	11,84	43,45				9,2	10,70	39,25
9,6	11,26	41,34				8,2	9,30	34,12
11,6	14,18	52,06				8,6	9,85	36,16
12	14,78	54,25				8,8	10,13	37,18
10,2	12,13	44,51				6,8	7,40	27,16
10,4	12,42	45,58				Total	397,20	1457,72
9,4	10,98	40,30						
10	11,84	43,45						
8	9,02	33,11						
8,4	9,57	35,14						
8,8	10,13	37,18						
9,8	11,55	42,39						
9,7	11,41	41,87						
7,6	8,48	31,10						
8,8	10,13	37,18						
7,6	8,48	31,10						
Total	551,65	2024,57						

Anexo E. Parámetros para determinar el estado de la copa de los individuos

ID	CONDITION DESCRIPTION	CONDITION %	% DIEBACK	REPORT CATEGORY	TRADUCCIÓN
1	100%	100	0	Excellent	Excelente
2	95% - 99%	97	3	Good	Bien
3	90% - 95%	92	8	Good	Bien
4	85% - 90%	87	13	Fair	Regular
5	80% - 85%	82	18	Fair	Regular
6	75% - 80%	77	23	Fair	Regular
7	70% - 75%	72	28	Poor	Pobre
8	65% - 70%	67	33	Poor	Pobre
9	60% - 65%	62	38	Poor	Pobre
10	55% - 60%	57	43	Poor	Pobre
11	50% - 55%	52	48	Poor	Pobre
12	45% - 50%	47	53	Critical	Critico
13	40% - 45%	42	58	Critical	Critico
14	35% - 40%	37	63	Critical	Critico
15	30% - 35%	32	68	Critical	Critico

16	25% - 30%	27	73	Critical	Critico
17	20% - 25%	22	78	Dying	Muriendo
18	15% - 20%	17	83	Dying	Muriendo
19	10% - 15%	12	88	Dying	Muriendo
20	5% - 10%	7	93	Dying	Muriendo
21	1% - 5%	2	98	Dying	Muriendo
22	0%	0	100	Dead	Muerto

Nota: Parámetros para determinar la condición de la copa de los individuos forestales, dados por % de condición y % de muerte.

Tomado del i-Tree Eco manual de toma de datos, 2016.

Anexo F. Rangos óptimos para las variables climatológicas en palma de aceite.

Mes	Precipitación (mm)	N° de días con lluvia	Temperatura media °C	Brillo solar (horas/día)	Humedad relativa	Evaporación	Evapotranspiración potencial
Enero	51,6033333	5	27,3433333	5,64491239	68,8	150,253846	140
Febrero	102,46	7	27,7689655	4,95581247	66,5517241	148,8	132,2
Marzo	170,773333	12	27,2933333	3,63373869	72,0689655	136,942308	131,7
Abril	450,593333	21	26,0821429	3,29328972	80,3333333	100,334783	111,2
Mayo	560,093333	25	25,4724138	3,54591665	83,1724138	103,082609	105,2
Junio	482,07931	25	24,8035714	3,14100576	84,5	92,7045455	95,2
Julio	446,171429	25	24,4344828	3,48893359	84,2068966	97,5	101,7
Agosto	345,996667	22	25,0833333	4,05813583	81,9666667	108,726923	113,4
Septiembre	338,223333	19	25,6833333	4,95138328	80,1333333	119,468	119,2
Octubre	418,593333	20	25,98	4,9732397	79,7	129,75	121,4
Noviembre	327,993103	18	26,1033333	4,75713681	79,6333333	119,758333	112,9
Diciembre	119,365517	10	26,5642857	5,24431746	75,5357143	126,934783	123,9
Rangos óptimos	100 a 208	10	22 a 32	> 5,5	75 a 85	N/A	50 a 150

Anexo G. Rangos óptimos para las condiciones del suelo del cultivo de palma de aceite.

CONDICIONES EDÁFICAS

LOTE	LAS 23		MACHO MUERTO		LAS MARRANERAS		RANGOS ÓPTIMOS
Horizonte	A	B	A	B	A	B	0 a 50 cm
Espesor	25 cm	30 cm	30 cm	20 cm	39 cm	21 cm	
Color	Pardo (17)	Naranja (10)	Oscuro (14)	Pardo (26)	Oscuro (14)	Amarillo rojizo (18)	N/A
pH	5,028		5,6		5,2		4,5 a 7,0
Temperatura	29,5°C		29,2°C		28,4°C		23°C a 27°C
Textura	Arcillosa		Franco-arcillosa		Franco-arenoso		Franco-arcillosa
Resistencia al Rompimiento	Firme		Firme-plástico		Húmedo-firme		N/A
Carbonatos	Bajo		Bajo		Bajo		Depende de la fertilización

*Anexo H. Cuadro de clasificación de residuos.***CUADRO DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS**

RESIDUOS GENERADO	COMPOSICIÓN DEL RESIDUO
Cáscaras de frutas y vegetales	Orgánico
Verduras	Orgánico
Residuos de alimentos	Orgánico
Bolsas usadas de aromática	Orgánico
Hojas secas	Orgánico
Hierbas	Orgánico
Raíces	Orgánico
Madera	Orgánico
Papeles	Orgánico
Cartón	Orgánico
Telas	Orgánico
Plástico	Inorgánico
Vidrio	Inorgánico
Telas sintéticas	Inorgánico
Loza	Inorgánico

Hojalata	Inorgánico
Zinc	Inorgánico
Hierro	Inorgánico
Latas	Inorgánico
Desechos de construcción	Inorgánico
Empaques de insecticidas y fungicidas	Peligroso
Aceites	Peligroso