



**Ministerio de Educación Superior  
Facultad Agroforestal  
Departamento de Ciencias Forestales**

**Memoria escrita en opción al Título Académico de Master en Ciencias  
Forestales**

**Mención: Aprovechamiento Forestal**

**Captación de carbono en un sistema Agroforestal perteneciente a la UBPC Roberto Blet  
Alpajón**

**Autor: Ing. Rolando Arteaga Duran**

**Ministerio de Educación Superior**  
**Facultad Agroforestal**  
**Departamento de Ciencias Forestales**

**Memoria escrita en opción al Título Académico de Master en Ciencias  
Forestales**

**Mención: Aprovechamiento Forestal**

**Captación de carbono en un sistema Agroforestal perteneciente a la UBPC**  
**Roberto Blet Alpajón**

**Autor:** Ing. Rolando Arteaga Duran

**Tutores:** Dra. C. Karen alvarado Ruffo.

***“...Donde la naturaleza florece, el hombre también. La naturaleza inspira, cura, consuela, fortalece y prepara para la virtud al hombre. Y el hombre no se halla completo, ni se eleva a sí mismo, ni ve lo invisible, sino en su íntima relación con la naturaleza...”.***

José Martí

## Dedicatoria



- ✚ A mi familia que desde siempre han dado su apoyo incondicional en especial a mi queridísima madre.
- ✚ A quien fue y siempre será mi estimado tutor donde sea que se encuentre Lázaro Telo Crespo.
- ✚ En general a todas las personas que de una forma u otra me han ayudado a que este trabajo se cumpla.

## Agradecimientos

- ✚ Me gustaría agradecer a todas aquellas personas que, a título individual o en nombre de las organizaciones e instituciones a las que representan, me han aportado sus valiosas opiniones.
- ✚ A mi tutora Dra. C Karen Alvarado Ruffo por sus sabias contribuciones, comentarios y sugerencias.
- ✚ A mis compañeros de la Facultad Agroforestal que me han apoyado para la realización de este trabajo, en especial a mí amigo y hermano Gabriel Cespedes Correa.
- ✚ A la Revolución cubana y en especial a nuestro comandante en jefe Fidel Castro Ruz por hacer que cada cubano llegue a cumplir sus sueños anhelados.

## RESUMEN

La investigación se realizó entre febrero a noviembre del 2020 en la finca Maguana, perteneciente a la UBPC Roberto Blet Alpajon, ubicada en la localidad de Maguana, municipio Baracoa, con el objetivo de determinar la Influencia de dos arreglos agroforestales del cultivo de coco en la captura y almacenamiento de carbono como servicio ecosistémico. Se caracterizó el estado de la vegetación asociada al sistema agroforestal, se evaluaron las propiedades físico- químicas y se estimaron los niveles de carbono en relación con su aporte ecosistémico para determinar el valor económico del almacenamiento de carbono. Como resultado del inventario sistemático realizado en el SAF cocotero se muestrearon un total de 789 árboles, cuya composición florística está formada por 13 especies identificadas, pertenecientes a 10 familias botánicas. Las familias botánicas de mayor presencia en el área fueron Arecaceae, Annonaceae, Myrtaceae, sobresaliendo Arecaceae ya que en esta familia se encuentra el cultivo principal del SAF, la misma tuvo una representación del 52.73 %. El arreglo intercalado presento más biomasa que el monocultivo. Estadísticamente se determinó que existieron diferencias estadísticas entre los arreglos ( $p \leq 0,01$ ), en el componente arbóreo la raíz acumuló el 14,07% de la biomasa total ( $19,188 \text{ t ha}^{-1}$ ) y los componentes leñosos, fuste y ramas- el 85,93% ( $116,627 \text{ ha}^{-1}$ ). La biomasa aérea de los árboles fue de  $75,025 \text{ t ha}^{-1}$ . El análisis mostró un estimado de carbono almacenado por hectárea en los sistemas, valorado aproximadamente en 6 787 dólares (USD) por año.

**Palabras clave:** Arreglos agroforestales, Almacenamiento de carbono, Servicio ecosistémico, valor económico.

## ABSTRACT

The research was carried out between February and November 2020 at the Maguana farm, belonging to the Roberto Blet Alpajon UBPC, located in the town of Maguana, Baracoa municipality, with the aim of determining the influence of two agroforestry arrangements of coconut cultivation in the carbon capture and storage as an ecosystem service. The state of the vegetation associated with the agroforestry system was characterized, the physicochemical properties were evaluated and the carbon levels were estimated in relation to their ecosystem contribution to determine the economic value of carbon storage. As a result of the systematic inventory carried out in the coconut palm SAF, a total of 789 trees were sampled, whose floristic composition is made up of 13 identified species, belonging to 10 botanical families. The botanical families with the greatest presence in the area were Arecaceae, Annonaceae, Myrtaceae, with Arecaceae standing out since in this family is the main crop of SAF, it had a representation of 52,73%. The intercropping arrangement presented more biomass than the monoculture. Statistically, it was determined that there were statistical differences between the areglos ( $p \leq 0,01$ ), in the tree component the root accumulated 14,07% of the total biomass (19,188 t ha<sup>-1</sup>) and the woody components, stem and branches - 85.93 % (116,627 ha<sup>-1</sup>). The aerial biomass of the trees was 75,025 t ha<sup>-1</sup>. The analysis showed an estimate of carbon stored per hectare in the systems, valued at approximately US \$ 6,787 per year.

Keywords: Agroforestry arrangements, Carbon storage, Ecosystem service, economic value.

## ÍNDICE

I. Introducción.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Captura de carbono.....	4
2.2. Ciclo del carbono.....	4
2.3. Cambio climático y emisiones de CO <sub>2</sub> .....	6
2.4. Sistemas agroforestales .....	8
2.5. Caracterización general de Cocos nucifera L.....	9
2.6. Los SAF como estrategia de adaptación al cambio climático en la agricultura .....	14
2.7. Beneficios de los SAF que contribuyen a la adaptación al CC.....	16
2.8. Los SAF y la mitigación del cambio climático.....	17
2.9. Acumulación de C en SAF con cultivos anuales .....	18
2.10. Acumulación de C en Suelos de Sistemas Agroforestales.....	20
2.11. Índice de Valor de Importancia (IVI) .....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
3.1. Ubicación geográfica del área de estudio, finca “Maguana .....	26
3.2 Características climáticas del área de investigación .....	26
3.3. Metodología empleada.....	27
3.4. Determinación de la captura de carbono del SAF cocotero .....	30
3.5. Análisis estadístico.....	32
3.6. Valoración económica .....	32
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
4.1. Comportamiento de la vegetación forestal en el inventario sistemático .....	33
4.2. Análisis de la diversidad florística del área de estudio .....	34
4.3. Evaluación de las propiedades físico-químicas del área de estudio .....	38
4.4. Estudio del contenido de Carbono almacenado en los suelos .....	44
4.5. Biomasa vegetal total del sistema agroforestal .....	46
4.6. Carbono almacenado en el SAF .....	48
4.7. Valoración económica .....	51
V. Conclusiones .....	55
VI. Recomendaciones .....	56
Referencias Bibliográficas	
ANEXOS	

## I. Introducción

El cambio climático se puede definir como la transformación irreversible de las condiciones climáticas en amplias zonas de la Tierra, debido a la acción simultánea de los factores naturales y antrópicos (Mercadet y Álvarez, 2005).

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) provocan un fenómeno climático llamado efecto invernadero (Messa, 2009), lo cual impide que la radiación proveniente del sol retorne al espacio, provocando cambios en el clima, principalmente en la temperatura media global y un aumento en el nivel del mar.

Los impactos del cambio climático (CC) sobre la agricultura han sido documentados ampliamente (IPCC 2007, Cifuentes Jara 2010). En algunas regiones de América Latina los agricultores difícilmente pueden adaptarse a estos cambios. Actualmente los precios de los productos agrícolas apenas compensan las reducciones en los rendimientos, lo que pone a los agricultores en una situación extremadamente vulnerable (Ovalle, 2016).

La contribución total de la agricultura para los cambios climáticos, está estimada entre 17% y 32% de todas las emisiones de GEI causadas por la actividad humana (Mejía et al., 2016).

Una forma de reducir las emisiones de  $CO_2$  es, secuestrándolo, capturándolo y manteniéndolo el mayor tiempo posible en la biomasa vegetal, principalmente en el suelo y ello se logra a través de la fotosíntesis, la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Por ello se propone la introducción de árboles para reducir las emisiones de C y por ende mejorar el rendimiento económico general de un Sistema agroforestal (SAF) a largo plazo, proporcionando ingresos alternativos (Rahman et al., 2016).

Los principales componentes de almacenamiento de Carbono en el uso de la tierra son el Carbono orgánico del suelo (COS) y en la biomasa arriba del suelo (Feliciano et al., 2018). Actualmente el secuestro de carbono es uno de los servicios ecosistémicos de mayor interés en suelos cultivados y no cultivados. Muchos estudios en el Mundo tratan de estimar la capacidad de secuestro de carbono de los suelos según las condiciones climáticas, edáficas y de manejo (Schulp et al., 2008, Liang et al., 2005).

Los sistemas agroforestales (SAF) representan importantes sumideros de carbono (C); sin embargo, no han sido considerados en este sentido, debido a la ausencia de información cuantificada sobre su potencial de almacenamiento y la fijación de carbono (Ávila *et al.*, 2001).

Los SAF son uno de los mecanismos para la adaptación al CC debido a su diseño que promueve un microclima moderado bajo la sombra de los árboles, donde la temperatura en promedio puede disminuir de 2 a 5°C (Pineda, M.R. 2011).

Por otro lado, los beneficios asociados con la agroforestería, que incluyen el amortiguamiento del clima en el corto plazo y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de manera más efectiva al aumentar el área forestal (Waheed *et al.*, 2018). A esto se suma la importancia de incrementar y mantener los SAF tradicionales (árboles frutales y forestales) que ayudan a mantener la biodiversidad en paisajes donde el hábitat forestal está disminuyendo debido a las actividades humanas, conservando especies en peligro de extinción (Abada *et al.*, 2016). Asimismo, la cantidad de carbono almacenado por un SAF depende de la abundancia de árboles asociados, su estructura y su área basal (Nadège *et al.*, 2018).

Esto tiene un impacto positivo asociado a la conservación de la biodiversidad, mitigación de la pobreza y seguridad alimentaria ya que funcionan a través de múltiples interacciones entre árboles, cultivos, animales, ambiente y el ser humano, así como en la reducción de costos de producción (Beer *et al.*, 2004).

También existen combinaciones de los sistemas de manejo de agrosilvicultura y la selección de cultivos de cobertura los cuales pueden mejorar la salud del suelo y promover la sostenibilidad en los agroecosistemas tropicales (Castro, R. J. 2017)

En la región de Baracoa, Guantánamo, el cultivo del cocotero es considerado como uno de los productos agrícolas tradicionales de importancia social y económica, porque genera ingresos y empleo de mano de obra familiar (Rapidel *et al.*, 2010). Este municipio posee un clima tropical lluvioso constituyendo esta la región más húmeda del país con promedio anual de precipitaciones superior a 3000 mm que provocan pérdida de la capa superficial del suelo en las zonas montañosas. Posee además una red hidrográfica de elevado caudal que unido a

las precipitaciones causan inundaciones continuas en las zonas bajas (ONEI, 2019).

Todo lo explicado anteriormente fusionado al hecho de que el cocotero es un cultivo de baja producción de residuos, son aspectos que inciden sobre la captación del carbono, sin embargo, no se han realizado estudios que permitan determinar su magnitud en el municipio, siendo necesario caracterizar los factores más relevantes en el aspecto socio económico y ambiental, para mejorar las potencialidades de los SAF cocoteros y promoverse como una alternativa de manejo sostenible.

**Problema:** no existe una estimación de los niveles de Carbono retenido en el sistema agroforestal de cocotero permite conocer su aporte como servicio ecosistémico.

### **HIPÓTESIS**

La estimación de los niveles de Carbono retenido en el sistema agroforestal de cocotero permite conocer su aporte como servicio ecosistémico.

### **Objetivo General:**

Determinar la Influencia de dos arreglos agroforestales del cultivo de coco en la captura y almacenamiento de carbono como servicio ecosistémico.

### **Objetivos específicos:**

- Caracterizar el estado actual de la vegetación asociada al SAF
- Conocer la relación del carbono orgánico con varias propiedades físicas y químicas del suelo.
- Estimar los niveles de Carbono en SAF en relación con su aporte como servicio ecosistémico.
- Determinar el valor económico del almacenamiento de carbono

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Captura de carbono**

Es el proceso mediante el cual el carbono es extraído de la atmósfera y almacenado mediante la fotosíntesis en la vegetación y en otros sumideros de carbono tales como los océanos y el suelo a través de procesos físicos (MINAM, 2012). Dichos sumideros de carbono pueden ayudar a compensar el CO<sup>2</sup> emitido por las diversas actividades humanas, principalmente por la quema de combustibles fósiles, por tanto, se considera que la agricultura puede proporcionarnos un importante servicio ambiental mediante la captura de carbono, ya que permitiría compensar el dióxido de carbono emitido por otros sectores (MINAM, 2012). La captura de carbono representa una estrategia de mitigación frente al cambio climático, por lo cual debe ser potenciada mediante las prácticas de reforestación, forestación, ampliación de la cubierta forestal mediante la agro silvicultura, agroforestería y en los demás sistemas agrícolas, además de ciudades y paisajes rurales (FAO, 2010).

Se considera a la captura y almacenamiento de carbono como una alternativa para estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI), pues este proceso consiste en la separación del dióxido de carbono emitido por diversas fuentes, su almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera por un largo periodo (IPCC, 2005).

### **2.2. Ciclo del carbono**

El carbono es un elemento químico esencial en los compuestos orgánicos, este elemento circula entre el suelo, subsuelo, la atmósfera y los océanos; los cuáles son denominados depósitos de carbono. La circulación del carbono a través de los depósitos de carbono ocurre mediante procesos químicos, físicos y biológicos (Burbano, 2018).

El intercambio de carbono entre los reservorios terrestre y atmosférico inicia cuando las plantas absorben y transforman el CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis en azúcares. Las plantas juegan un papel fundamental en el ciclo del carbono ya que mediante el proceso de fotosíntesis regulan la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Al tratarse de un ciclo biogeoquímico intervienen otros factores y el carbono es

intercambiado entre la litósfera, la hidrósfera y la atmósfera (Gutiérrez, 2017). La fijación del dióxido de carbono atmosférico mediante la fotosíntesis da inicio al ciclo del carbono, este proceso es realizado por las plantas y algunos microorganismos. En la fotosíntesis se ven involucrados el dióxido de carbono y el agua, los cuales reaccionan para formar carbohidratos y a su vez liberar oxígeno a la atmósfera. Los carbohidratos, en parte son los que suministran energía a la planta y producto de su metabolismo también se libera CO<sub>2</sub> el cual retorna a la atmósfera; otra parte del carbono es consumido por los animales ya que estos como durante sus procesos metabólicos liberan carbono. Asimismo, al finalizar su ciclo de vida, las plantas y los animales son descompuestos por los microorganismos presentes en el suelo de modo que el carbono presente en sus estructuras es liberado tanto a la atmósfera como también pasa a formar parte del carbono orgánico del suelo (Burbano, 2018).

### **Métodos para la estimación de carbono**

- Método directo o destructivo, se realiza mediante la cosecha de la biomasa de todos los árboles que abarca el área en estudio, se debe secar y pesar la biomasa para generar ecuaciones alométricas; implica alta inversión de tiempo, mano de obra y recursos, por lo que no es recomendable aplicarlo para la estimación de carbono a gran escala o para grandes áreas (Fernández, 2017).
- Método indirecto, consiste en seleccionar ecuaciones alométricas existentes en la literatura y realizar los cálculos necesarios, luego de haber medido las variables correspondientes en campo (Fernández, 2017).

### **Depósitos de carbono**

Son aquellos sistemas o sus componentes capaces de almacenar o emitir carbono, como por ejemplo la biomasa viva, la materia orgánica muerta y los suelos (materia orgánica del suelo) [FAO, 2005). Los depósitos de carbono que pueden ser medidos son tres (IPCC, 2003, citado por ICRAF,2009):

- Biomasa viva, la cual comprende la biomasa sobre el suelo y la biomasa subterránea. La biomasa sobre el suelo incluye troncos vivos, cáscaras, semillas, hojas y ramas, para su medición se clasifican en biomasa aérea arbórea y

biomasa aérea no arbórea. En tanto todas las raíces vivas, excluyendo las raíces finas con menos de 2 mm de diámetro, que son difíciles de distinguir en la materia orgánica, pertenecen a la biomasa subterránea.

- Materia orgánica muerta, representada por la madera muerta y hojarasca. La madera muerta incluye árboles muertos en pie, troncos caídos, y tocones con diámetro mayor a 10 cm. La hojarasca abarca todas las hojas, cáscaras de frutos y ramas en estado de descomposición. Así como también los detritos y humus.

- Suelo, abarca el carbono orgánico presente en los suelos orgánicos y minerales a una cierta profundidad según los requerimientos de cada estudio.

### **2.3. Cambio climático y emisiones de CO<sub>2</sub>**

El (IPCC, 2005) en su cuarto informe indica que el calentamiento global de la superficie del planeta ha sido inducido por las actividades humanas y principalmente por el incremento de la concentración de las emisiones de gases de efecto invernadero, esto debido al incremento de las actividades productivas y económicas desencadenadas por la revolución industrial, y a la tendencia actual del consumismo y el uso irracional de los recursos naturales, principalmente los combustibles fósiles (MINAM, 2015).

Bueno (2016), define al efecto invernadero como: el fenómeno mediante el cual la tierra incrementa su temperatura debido a la acción de los GEI, por lo que se requiere conocer y entender los factores o agentes que inciden en las variaciones atmosféricas.

El incremento de emisiones de gases de efecto invernadero y en especial las emisiones de CO<sub>2</sub> influyen directamente en el cambio climático el cual se define como la variación del clima influenciado directa o indirectamente por las actividades antropogénicas que modifican los componentes atmosféricos, incluyendo los cambios naturales del clima registrados en periodos de tiempo similares (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2008).

Los efectos del cambio climático son irreversibles y de gran magnitud en todos los seres vivos, ya que algunos de ellos pueden extinguirse al no ser capaces de adaptarse a los cambios drásticos del clima.

## **Agroforestería y cambio climático**

Expertos en el tema indican que la temperatura y la disminución en la humedad del suelo seguirán en aumento por lo que ocasionarían la sustitución gradual de los bosques tropicales por sabanas, generando importantes pérdidas de diversidad biológica y la extinción de algunas especies en los ecosistemas frágiles y en agro ecosistemas (Centro Salvadoreño de Tecnología Apropriada [CESTA], 2011).

La deforestación evitada es una importante alternativa de mitigación ante el cambio climático, debido a la capacidad de los bosques para almacenar carbono; sin embargo, se debe equilibrar la producción de alimentos con la provisión de servicios ecosistémicos de los bosques. Ante esta realidad la agroforestería representa una valiosa alternativa para la mitigación, ello no implica que los sistemas agroforestales constituyan una justificación para la conversión de los bosques, si no para recuperar áreas deforestadas o degradadas (Lapeyre et al., 2004).

Los modelos de producción agrícola se han visto gravemente afectados por los cambios del clima, ya que se sustentan en el uso de insumos químicos en su mayoría para garantizar su producción, uso de pesticidas, siembra de monocultivos y la introducción de especies exóticas entre algunas prácticas más comunes, agravando aún más la capacidad de producción de los suelos, causando el deterioro de estos. Frente a este grave problema la agroforestería se presenta como una gran alternativa a la agricultura sustentable ya que permite diversificar la producción, recuperar los sistemas productivos, reducir la dependencia de insumos químicos y por tanto un mejor reciclado de nutrientes en los suelos (Farfán, 2014).

La agroforestería facilita la adaptación de las fincas ante fenómenos climáticos extremos como heladas o sequías, combina la mitigación y adaptación al cambio climático, ya que además de la producción de madera, frutos, cortezas, semillas, resinas, los árboles realizan otras funciones muy importantes entre ellas la fijación y almacenamiento del carbono (Timoteo et al., 2016).

El alto potencial de los sistemas agroforestales para retener carbono es ampliamente aceptado (Jezeer y Verweij, 2015). Los servicios ambientales que brindan los sistemas agroforestales son muy importantes para la mitigación y adaptación al cambio climático.

#### **2.4. Sistemas agroforestales**

De acuerdo con Nair (1993), los sistemas agroforestales son aquellos sistemas de uso de la tierra donde se combinan tres componentes que son manejados de acuerdo con el usuario agrario, especies leñosas perennes, cultivos agrícolas y animales, aunque en la presencia animal se da tan solo en algunos casos; entre estos componentes se producen interacciones ecológicas y económicas como resultado de los arreglos espaciales y temporales dentro del sistema. Los sistemas agroforestales crean sumideros en las tierras agrícolas y al mismo tiempo permiten producir alimentos (Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM, 2012).

En el Reglamento para la Gestión de las Plantaciones Forestales y los Sistemas Agroforestales, se define a los sistemas agroforestales como el tipo de uso de la tierra en el que se realiza el manejo asociado de especies agropecuarias y forestales en espacio y tiempo simultáneos, incluyendo diversas prácticas como preservación, manejo de especies leñosas e integración tanto en sistemas agrícolas productivos perennes como anuales (Ruiz, P. M, 2007).

Los sistemas agroforestales tienen un funcionamiento similar al de un bosque natural, debido a que se combinan árboles frutales, medicinales y maderables con cultivos tradicionales, de modo que se obtiene una mayor diversidad de productos (CESTA, 2011).

#### **Clasificación de los sistemas agroforestales**

Para clasificar a los sistemas agroforestales existen varios criterios los cuales están relacionados con la importancia, el rol y el arreglo temporal y espacial de sus componentes, así como el escenario económico social y los objetivos de la producción del sistema. Existen dos categorías básicas en las que se pueden clasificar a los sistemas agroforestales: en simultáneos y secuenciales (Palomeque, 2009).

### **Sistemas agroforestales simultáneos**

Sistemas en los que las cosechas agrícolas o los animales y los árboles crecen juntos, en el mismo tiempo y espacio, es decir, todos sus componentes se encuentran presentes en estos sistemas; los árboles compiten por luz, minerales y agua, la competencia por nutrientes es minimizada mediante el espaciamiento y otras técnicas. En un sistema simultáneo, cuando la cosecha está creciendo rápidamente los árboles no deben crecer tan rápido, deben tener raíces más profundas que la de los cultivos para así disminuir la competencia y poseer un dosel pequeño de modo que no sombreen demasiado a los cultivos (Palomeque, 2009).

### **Sistemas agroforestales secuenciales**

Sistemas en los que hay una relación cronológica entre los productos arbóreos y las cosechas anuales, además de formas de agricultura migratoria que incluyen el manejo de barbechos, y métodos de establecimiento de plantaciones forestales, denominados sistemas Taungya en los que las plantaciones de árboles se desarrollan de manera simultánea con los cultivos anuales hasta que el follaje de los árboles se haya desarrollado (Palomeque, 2009).

Las cosechas y los árboles en los sistemas secuenciales se turnan para ocupar el mismo espacio, los sistemas por lo general inician con cosechas agrícolas y finalizan con árboles, manteniendo así la competencia a un mínimo, ya que en los sistemas secuenciales los árboles deben crecer rápidamente cuando los cultivos no lo estén haciendo, además deben fijar nitrógeno, reciclar los minerales de las capas más profundas del suelo y suprimir plantas indeseables teniendo una copa grande (Rojas, 2013).

## **2.5. Caracterización general de Cocos nucifera L.**

Según el Comité Estatal de Sanidad Vegetal (Cortázar, 2011), en su Guía Paquete Tecnológico del Cultivo del cocotero, la palma de coco pertenece a la familia Arecaceae y es la única especie del género Cocos, de la cual se han desarrollado diferentes variedades y ecotipos.

**Reino: Plantae**

**División: Magnoliophyta**

**Clase:** Liliopsida

**Orden:** Arecales

**Familia:** Arecaceae

**Género:** Cocos

**Especie:** *C. nucifera* L.

Sánchez (2001) nos dice que existen numerosas formas dentro de la especie *Cocos nucifera* L. las cuales agrupa de forma muy definida como variedades. Estas variedades están definidas por dos tipos de fecundación, la fecundación alógama o cruzada, y la fecundación autógena o autofecundas.

### **Clima**

El cocotero crece de preferencia en los litorales, aunque se han encontrado casos en donde se desarrolla y fructifica normalmente muy lejos del mar; lo que indica que su distribución geográfica abarca todas las áreas húmedas de los trópicos (Domínguez *et al.*, 1999).

Carrillo-Ruiz *et al.*, 1969, nos dice de acuerdo a sus observaciones realizadas en diferentes partes del mundo como Asia, América, Pacífico y África, que, las condiciones climáticas favorables para la sobrevivencia de *Cocos nucifera* L. solo se encuentra entre los dos paralelos de latitud 200, en donde cabe destacar que los factores climáticos que más afectan esta especie son: pluviosidad, temperatura, insolación, humedad atmosférica y viento.

Los requerimientos óptimos son de una temperatura media anual de 26.8°C, con una variación diaria no mayor de 7°C. Los promedios de temperaturas máximas deben de ser de 30.1°C y los promedios de temperatura mínimas de 23.5°C, la temperatura media del mes más frío que soporta el cocotero es de 20.8°C, por abajo de este valor se afecta el funcionamiento fisiológico de la planta, manifestándose en aborto de flores o inflorescencias (Ramos *et al.*, 2005)

Por otra parte, el Ing. Alberto Sánchez, en el Manual para Educación Agropecuaria Cultivos de Plantación, con año de edición 1983; nos menciona que las condiciones climáticas favorables para un buen desarrollo y producción de la especie *Cocos nucifera* se encuentran entre los dos paralelos a 100 de latitud norte y sur, lo que indica que corresponden a la zona tropical.

La planta de cocotero, puede desarrollarse sin problemas en regiones con precipitación anual de 1500 a 2000 mm y lluvias uniformemente distribuidas en todos los meses del año; una luminosidad de 2000 horas del sol al año, o por lo menos, 120 horas por mes y vientos moderados con presencia de aire húmedo para evitar la caída prematura de los frutos (Sánchez et al.,2001).

La distribución de la precipitación durante el año debe ser lo más homogénea posible y no ser menor de 1600 mm, con un período seco no mayor de tres meses (Ruíz, 2013).

Por otro lado, Cortázar (2011) afirmó que la precipitación debe de ser lo más homogénea posible durante todo el año, no siendo menor de 1600 mm, con un periodo seco no mayor a tres meses.

Para que el cocotero pueda llegar a la etapa de producción sin decaer necesita una precipitación mínima de 1500 milímetros anuales, bien distribuidos (tolerando 5000 mm de lluvia), de tal forma que no exista algún mes donde sea menor de 100 milímetros; cabe mencionar que, si esta condición no se cumple y se desea mantener la producción, es necesario regar en los meses de mínima o nula precipitación (Ramos *et al.*, 2005).

El régimen de precipitación pluvial ideal se caracteriza por una lluvia anual promedio de 1500 mm, con precipitación mensual mayor a 130 mm. Reportes sobre el déficit hídrico, señalan que períodos de tres meses con menos de 50 mm son perjudiciales al cultivo (De Taffin, 1998).

Según Fremond (1981) la precipitación óptima es de 1500 mm anuales repartida con regularidad a lo largo del año, pero cuando la precipitación es por debajo de 130 mm al mes, y la falta de agua no está compensada por la capa freática o por otras fuentes, esto se traduce en una baja del rendimiento.

### **Suelo**

Para establecer los cocoteros deben preferirse suelos con una profundidad de 80 a 100 cm, y libres de un lecho rocoso o arcilloso, además deben ser permeables y con una buena capacidad de aireación. El manto freático debe estar entre los 100 y 200 cm. Para evitar inundaciones prolongadas, las palmas deben establecerse en suelos con adecuado drenaje horizontal; la textura debe ser arenosa, franco

arenosa o de migajón arenoso. No deben establecerse cuando la conductividad sea mayor a 6 mil mhos/cm; un pH de 7 o cercano a éste es el óptimo para el desarrollo de las plantas (Rogelio, 2006).

Para que el cocotero muestre su mejor desarrollo debe distribuirse en suelos aluviales, aunque puede desarrollarse adecuadamente en los lateríticos, coralinos y volcánicos. Los suelos que contienen hasta un 97% de arena o 70% de arcilla, así como los suelos turbosos pueden ser aptos para el crecimiento de este árbol, pero este no manifiesta su potencial. Tiene un alto rango de adaptación a la salinidad y pH (Zizumbo, 2003).

En cuanto a la salinidad, tolera conductividades eléctricas hasta de 6 mil mhos/cm, después de la cual sufre desordenes fisiológicos. El pH cercano a 7 es el más recomendable para el cultivo; sin embargo, su rango de adaptación, sin sufrir desordenes fisiológicos de 5.5 a 7.5 (Ramos *et al.*, 2005).

Cortázar (2011) recalca que los cocoteros requieren suelos con características específicas, entre las cuales están: suelos libres de lecho rocoso o arcilloso, permeables y con una buena capacidad de aireación, con profundidad de 80 a 100 cm y con un manto freático de entre los 100 y 200 cm de profundidad; todo ello para que expresen su máximo potencial, además, las palmas de cocotero deben establecerse en suelos con textura arenosa, franco-arenosa o de migajón arenoso, sin descartar un drenaje horizontal adecuado.

### **Temperatura**

El cocotero requiere clima cálido, sin grandes variaciones de temperatura. Una temperatura media diaria en torno a los 27 °C con variaciones de 5 a 7 °C. (Carrillo-Ruiz *et al.*, 2015).

Los cocoteros requieren una temperatura media anual óptima de 26.8 °C, con una media máxima de 30.1 °C y media mínima de 23.5 °C, mantenerse estables y con una buena productividad (Cortázar, 2011).

La temperatura media anual debe ser de 26.8°C, con temperaturas medias máximas de 30.1°C, y medias mínimas de 23.5°C (Ruiz *et al.*, 2013).

El cocotero requiere días soleados la mayor parte del año ya que es una planta heliofílica, por tanto, una insolación de 2000 horas anuales con un mínimo de 120 horas mensuales, es considerada ideal para el cultivo (Ruiz *et al.*, 2013).

Los vientos suaves o moderados favorecen el cultivo, sin embargo, los vientos fuertes en períodos de sequía aumentan las condiciones de sequedad del suelo y la transpiración de la planta, generando un déficit hídrico perjudicial para la planta. Las condiciones de vientos huracanados son limitantes, principalmente para los cocoteros del tipo enano, pues poseen menor resistencia en su tronco y raíces (DE TAFFIN, 1998).

Los vientos constantes son indispensable para el buen desarrollo del cocotero, por ende estos no deben exceder de 15 kilómetros por hora así como también deben de ser vientos no secos y calientes ya que estos reducen la humedad relativa y causan descompensación entre los niveles de transpiración y la cantidad de agua absorbida, teniendo como efecto una deficiencia de agua en la planta, la cual repercute en la producción, por ello el viento se considera como agente polinizador en las variedades altas, ó como un factor muy importante para elevar la transpiración, lo cual a su vez estimula la absorción y circulación de nutrimentos. (Ramos *et al.*, 2005).

Por la distribución geográfica del cocotero, se puede concluir que los climas cálidos y húmedos son los más favorables para su cultivo. Una humedad atmosférica baja o excesiva es perjudicial al cocotero. Ochs (1977) reporta que menos del 60 por ciento de humedad relativa es nociva para la planta.

El cocotero requiere de humedad relativa de entre 80 y 90 por ciento, aunque puede desarrollarse cuando el promedio mensual no esté por abajo del 60 por ciento. La humedad relativa baja produce caída de frutos, aborto o muerte de la inflorescencia (Cortázar, 2011).

La humedad atmosférica debe ser de 80 a 90 por ciento con un promedio mensual no menor de 60 por ciento (Freitas R, 2000).

## **2.6. Los SAF como estrategia de adaptación al cambio climático en la agricultura**

Los SAF son considerados sistemas claves en la tendencia actual de promoción de la transformación de la agricultura convencional en “agricultura climáticamente inteligente” (“climate-smart agri-culture”; FAO 2010, 2012). La agricultura climáticamente inteligente (CSA, por sus siglas en inglés), tal y como fue definida y presentada por la FAO en la Conferencia sobre Agricultura, Seguridad Alimentaria y Cambio Climático de 2010 en La Haya, integra las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, social y medioambiental), abordando de forma conjunta la seguridad alimentaria y los retos climáticos. Se basa en tres pilares fundamentales:

- Incrementar de forma sostenible la productividad y los ingresos agrícolas;
- Adaptar y desarrollar resiliencia al cambio climático;
- Reducir y/o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero donde sea posible.

El enfoque de CSA está diseñado para identificar y poner en marcha el desarrollo agrícola sostenible dentro de los parámetros explícitos del cambio climático. La coordinación entre los sectores agrícolas (p. ej., cultivos, ganado, manejo de bosques y pesca), tales como el de la energía y el agua, es esencial para aprovechar las posibles sinergias, reducir las compensaciones y optimizar el uso de los recursos naturales y de los servicios de ecosistema. Este enfoque también está dirigido a fortalecer los medios de vida y la seguridad alimentaria, especialmente de los pequeños productores, mediante la mejora de la gestión y uso de los recursos naturales, y la adopción de métodos y tecnologías apropiados para la producción, procesamiento y comercialización de los bienes agrícolas (FAO 2010, 2012).

Para maximizar los beneficios y minimizar las compensaciones, las estrategias en la agricultura deben tomar en consideración el contexto social, económico y medioambiental en el que serán aplicadas. Se evalúan, igualmente, las repercusiones sobre la energía y los recursos locales (FAO, 2014).

Un componente clave es el enfoque integrado del paisaje, que atiende a los principios de gestión de ecosistema y uso sostenible de la tierra y el agua (Mendelsohn y Dinar 1999, FAO 2012).

Las estrategias de adaptación que han resultado efectivas para reducir los impactos adversos del cambio climático incluyen cambios en especies y manejo de los cultivos, por ejemplo:

- Cambio de especies de cultivos hacia otros mejor adaptados
- Cambios en las temporadas de cosecha
- Control de plagas y enfermedades cuya incidencia o gravedad ha aumentado debido al CC
- Traslado de cultivos a elevaciones más altas donde prevalecen menores temperaturas promedio
- Mejora en los sistemas de riego

Otras estrategias de adaptación involucran cambios hacia otras actividades que reemplazan a aquellas más afectadas por el cambio climático, por ejemplo:

- Cambios en el uso de la tierra hacia otras actividades productivas
- Desarrollo del mercado de especies de cultivos nuevos

La implementación y el manejo de SAF adecuados pueden involucrar varias de esas mismas estrategias al mismo tiempo. Por ejemplo, las consecuencias y posibles estrategias de adaptación al CC han sido bastante estudiadas en la cadena montañosa de la Sierra Madre de Chiapas, en el sur de México, región que se caracteriza por su alta biodiversidad, a la vez de ser una de las áreas de producción de coco. Allí, extensas áreas de bosque y ocasionalmente cocotales son destruidos cada año por incendios, problema que se espera aumente debido al clima más caliente y más árido (Schroth et al., 2009).

Un clima más cálido y con precipitaciones más irregulares será menos favorable para la producción de coco de calidad, por lo cual estos autores sugieren que una estrategia para mantener la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y las formas de vida en la Sierra Madre debería incluir la promoción de cocoteros ambientalmente amigable, con especies que confieran alguna protección contra

los huracanes y aumenten la diversificación de los productos de estos SAF (Schroth et al. 2009).

La diversificación económica es una estrategia para manejar el riesgo climático y el de los mercados, al disminuir la dependencia de los ingresos provenientes de la agricultura. Los SAF tienden a lograr mayor diversificación tanto a nivel de sistema de producción, como de finca y del paisaje. Las precipitaciones más irregulares, especialmente en regiones semi-áridas del África, disminuyen los ingresos por venta de las cosechas, lo cual es la causa más importante de variabilidad de los ingresos de los agricultores en estas regiones (Verchot et al., 2007). Resultados de estudios recientes en pequeñas comunidades demostraron que como respuesta al riesgo, estos agricultores aumentaban significativamente la diversificación de sus ingresos, incluyendo la cría de ganado, empleo en trabajos externos y otras fuentes de ingreso fuera de sus fincas.

Otro SAF cuya importancia para amortiguar los riesgos asociados con la variabilidad climática ha sido bastante reconocida es el de “parquizado” o sistemas de árboles dispersos en el terreno (Ong y Leakey 1999, Ong et al. 2002). Estos son algunos ejemplos de cómo la diversificación favorecida por los SAF puede aumentar la seguridad de los ingresos, y así disminuir los riesgos para el productor ante las consecuencias negativas del cambio climático.

## **2.7. Beneficios de los SAF que contribuyen a la adaptación al CC**

Los beneficios de los SAF que directa o indirectamente contribuyen para hacer frente a los cambios climáticos pueden incluir muchas de las ventajas por las que generalmente se fomentan los SAF (Montagnini et al. 1992, Montagnini y Nair 2004, Nair et al. 2009, Montagnini 2012):

- Cambios en las condiciones microclimáticas, lo cual incluye protección contra los extremos de temperatura, así como una mayor eficiencia del uso del agua de lluvia, protección contra las precipitaciones fuertes, y conservación del suelo y del agua.
- Aumentos en la fertilidad del suelo (reciclaje de nutrientes; ejemplos mencionados de sistemas de árboles con cultivos y barbechos mejorados)

- Aumentos de la producción y sostenibilidad a largo plazo (condición básica de casi todos los SAF)
- Diversificación de los sistemas agrícolas y de los ingresos
- Contribución a la seguridad alimentaria
- Contribución a la conservación de la biodiversidad y otros servicios ambientales

Por otro lado, como en todas las alternativas de usos de la tierra deben considerarse posibles desventajas del uso de SAF, las cuales pueden consistir en competencia por el agua y los nutrientes entre los diferentes componentes del sistema (especialmente durante las sequías y en suelos pobres); mayor incidencia de ciertas plagas, por ejemplo enfermedades fungosas en café, cacao; necesidad de mano de obra (para la poda y otras tareas); y la posibilidad de que sean adoptados plenamente por los agricultores (influida por las variables ya mencionadas, además de las tradiciones de los agricultores, su aversión al riesgo y otros factores) (Brancher, 2010).

Para lograr un balance adecuado entre estas ventajas y desventajas es posible realizar un análisis de la eficiencia económica de los SAF como estrategia de adaptabilidad al CC, examinando los beneficios de los SAF, para ver si los agricultores están o no en mejor situación con los SAF. Los detalles de la implementación y manejo de los SAF dependerán de las condiciones locales, que varían para cada agricultor (Chait, 2017).

Deben compararse los beneficios de los SAF a lo largo de gradientes regionales de temperaturas y humedad, para poder determinar en qué punto los beneficios de los agricultores se aprovechan al máximo, y lograr un punto de vista acertado sobre las regiones donde los SAF son una opción eficiente para la adaptación al CC (Afanador Ardila 2008).

## **2.8. Los SAF y la mitigación del cambio climático**

Los SAF cumplen un papel importante en la mitigación del CC al disminuir la presión sobre los bosques, los cuales son el mayor reservorio de C, además de contribuir a la toma de C en el componente arbóreo, en cultivos y en suelos (Montagnini y Nair 2004).

El potencial para la captura de C por los SAF es muy variable, con tasas de 0,29-15,21 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para la parte aérea, y acumulación de 30-300 Mg C ha<sup>-1</sup> para los suelos, dependiendo del sitio, tipo de SAF, especies involucradas, edad y manejo (Montagnini y Nair 2004, Nair et al. 2010).

Existe mucha variabilidad en el potencial para la toma de C entre las diferentes especies utilizadas en SAF, sea árboles, arbustos, o cultivos, unido a la variabilidad esperada entre regiones, sumado a las diferentes prácticas de manejo que también pueden afectar estas tasas. Variaciones en las condiciones ambientales (clima, suelos) pueden afectar la toma de C dentro de una región determinada (Nair,2012).

Los supuestos utilizados en los cálculos pueden originar errores en las estimaciones de biomasa y C (densidad de madera, contenido de C en tejidos, ecuaciones alométricas y modelos). Es necesario tomar en consideración esta variabilidad al realizar estimaciones y extrapolaciones (Nair, 2009).

## **2.9. Acumulación de C en SAF con cultivos anuales**

Las reservas terrestres de carbono de todo el carbono almacenado en los ecosistemas se encuentran en: Biomasa de plantas vivas (aérea y subterránea); Biomasa de plantas muertas (aérea y subterránea) y Suelo (en materia orgánica de la tierra y en cantidades ínfimas, como biomasa animal y de microorganismos) (Mutuo et al., 2005).

En la orientación del IPCC (2000), a estos reservorios se los describe como biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono del suelo.

La biomasa aérea abarca todos los troncos leñosos, ramas y hojas de árboles vivos, plantas rastreras, enredaderas y epífitas, así como las plantas del sotobosque y la vegetación herbácea. En el caso de los suelos agrícolas, incluye árboles (si hay), cultivos y maleza. Kearney et al. (2012) reporto reservas de Carbono en un rango de 0 a 121.2 Mg ha<sup>-1</sup> para la biomasa aérea en la zona de la mancomunidad La Montañona. En otro estudio realizado en Nicaragua, se estimó el Carbono almacenado en bosques secundarios jóvenes (10 – 25 años) obteniendo valores entre 25.2 y 68.8 Mg ha<sup>-1</sup> (Suarez et al. 2002). La biomasa

subterránea abarca las raíces, la fauna del suelo y los microorganismos. (Chait, 2017).

En los SAF, los cultivos anuales o perennes agregan cantidades significativas de raíces al suelo, en comparación con una plantación forestal o con un bosque natural. Los árboles de plantaciones o bosques pueden tener raíces estructurales profundas y generalmente poseen cantidades relativamente menores de raíces superficiales, en comparación con pastos y cultivos agrícolas anuales, los cuales tienen la mayoría de sus raíces en la capa superficial del suelo (Hiederer & Köchy, M. 2011).

Una excepción son los árboles de bosque lluvioso que crecen en sitios con suelos pobres como en algunos bosques del Amazonas, en zonas de ríos de “aguas negras” pobres en nutrientes, los cuales poseen gran cantidad de raíces superficiales, formando una mata o estera de raíces que aumenta la absorción de nutrientes. Las especies de cultivos agrícolas han sido seleccionadas para crecer rápido y ocupar el suelo con sus raíces superficiales, para tener acceso al agua y a los fertilizantes (Turvey, C. G. 2001).

La materia orgánica muerta es decir, la necromasa, incluye, árboles caídos y tocones, desechos leñosos gruesos, la capa de hojarasca y el carbón vegetal (o materia orgánica parcialmente carbonizada) sobre la superficie del suelo. La reserva de carbono de la hojarasca en una selva tropical suele ser aproximadamente 5 Mg ha<sup>-1</sup> al año, con un periodo medio de permanencia en la capa de hojarasca de aproximadamente 1 año. Los árboles muertos pueden tardar aproximadamente 10 años en descomponerse y la necromasa constituye aproximadamente el 10% del total de reserva de carbono aéreo en un bosque natural saludable. Debido a que la tala suele enfocarse en aprovechar los árboles más valiosos y dañar muchos otros, la necromasa puede constituir 30-40% de la reserva de carbono aérea luego de la tala. Si se utiliza fuego para realizar el desmonte, el carbono resultante se emitirá en forma directa o permanecerá por aproximadamente una década (Hairiah et al. 2010) La hojarasca puede llegar a representar hasta un 9% del total de las reservas de Carbono de un bosque secundario (Steinfeld et al.,2006).

## 2.10. Acumulación de C en Suelos de Sistemas Agroforestales

En el mundo, los suelos, dependiendo del ecosistema y clima de la región de que se trate, contienen tanto o más C que la vegetación que crece sobre ellos, de manera que el carbono orgánico del suelo (COS) juega un papel crucial en el ciclo global del C. Las técnicas que aumentan la toma y conservación del COS y evitan la erosión tales como las utilizadas en “agricultura alternativa,” en sistemas orgánicos, y en SAF tienen efectos positivos sobre la mitigación del CC (Lal 2005). El carbono del suelo abarca el carbono orgánico, carbono inorgánico y el carbón vegetal. El bicarbonato, un tipo de carbono inorgánico, está presente en los suelos calcáreos pero es insignificante en los suelos neutros y ácidos.

El principal tipo de carbono en el suelo se encuentra en diversas etapas de humificación, y los plazos de recambio llegan hasta cientos (o incluso miles) de años. En las turberas, los plazos de recambio pueden alcanzar los miles de años. En los suelos minerales, el cambio en el carbono orgánico del suelo es relativamente pequeño y ocurre principalmente en los primeros 30 cm de la capa de suelo (Nair et al. 2009).

La concentración de carbono orgánico en los suelos generalmente disminuye con la profundidad y a mayor proporción de reservorios relativamente estables menor la concentración total de carbono. La respuesta más fuerte de la reserva de carbono en el suelo a los cambios en la cobertura terrestre ocurre en los primeros 20-30 cm. Sin embargo, los datos empíricos sólo suelen permitir detectar cambios en la capa de 0-5 cm de profundidad (Lal 2005, Nair et al. 2009).

Estimaciones del COS almacenado por los SAF dan valores de 30 a 300 Mg C ha<sup>-1</sup> en estudios realizados hasta 1 m de profundidad en el suelo (Nair et al. 2010). Para los SAF se dan valores de 6,9 a 24,2 Mg C ha<sup>-1</sup> en regiones templadas y de hasta 130 a 173 Mg C ha<sup>-1</sup> en regiones tropicales, sin embargo estas cifras dependen de la profundidad de muestreo del suelo y de los métodos utilizados para el análisis del COS (Nair et al. 2010).

La acumulación de C en suelos ocurre cuando se utilizan prácticas de manejo del suelo que son comunes en diversos tipos de SAF, las cuales están dirigidas a lograr lo siguiente:

- Disminuir la temperatura del suelo, tal como el uso de mantillo (mulch) o la sombra
- Aumentar la fertilidad (ej., con especies fijadoras de N)
- Lograr una mejor aireación (menores perturbaciones, menor labranza).

La dinámica del C orgánico del suelo (COS) luego de la conversión de bosque tropical a agricultura y otros usos de la tierra, sirve para entender el potencial para recuperar COS por medio del uso de prácticas adecuadas. La pérdida de COS debida a la conversión de un tipo de uso de la tierra a otro es equivalente a la capacidad del suelo para acumular C, tanto en el tamaño del reservorio de COS, como en su tasa de aumento. Dicha tasa depende del punto de referencia, con mayores tasas de aumento en suelos muy degradados (Lal 2004, 2005).

En general los SAF, incluyendo los SSP, tienen mayor potencial para la captura de COS que las pasturas convencionales (Lal 2004, Montagnini y Nair 2004, Nair et al. 2010). Los SAF tienen tasas de aumento de COS intermedias entre las de plantaciones arbóreas convencionales y las de agricultura con labranza mínima (Lal 2005, Nair et al. 2009).

En nuestras investigaciones recientes sobre el crecimiento y adaptabilidad de especies nativas en la Estación Biológica La Selva, en Costa Rica, se muestrearon los suelos para comprobar si los árboles nativos contribuían a su restauración y a la toma de COS (Nair et al. 2009).

Fueron comprobados los efectos tempranos: a los 3 años de edad, en los primeros 15 cm el COS había aumentado bajo los árboles, alcanzando valores de 2,25-3,3% según las especies, mientras que en las pasturas degradadas el COS fue de 2,4%, y en un bosque secundario de 20 años de edad, adyacente, fue similar a lo encontrado bajo los árboles, 3,7%. Los mayores valores de COS se hallaron bajo la copa de *Vochysia ferruginea*, que fue la especie que produjo la mayor cantidad de hojarasca. En estos sistemas, el ganado se alimenta de pastos que crecen de manera natural. Dado el potencial de estos SSP para acumular C tanto en partes aéreas como subterráneas, deberían fomentarse, diseñando SSP que incluyan otros forrajes más productivos y que estén bien adaptados a su combinación con estas especies de árboles nativos (Montagnini y Finney 2011).

## **Efectos del manejo orgánico sobre el Carbono Orgánico del Suelo (COS)**

En SAF bien diseñados y manejados de acuerdo con el sitio, los árboles pueden proveer suficiente biomasa y nutrientes como para que no sea necesario usar fertilizantes químicos, lo que hace factible el manejo orgánico con sus ventajas económicas y ambientales (Montagnini et al. 2011).

La diversidad de especies en los SAF puede resultar en menor incidencia de enfermedades y plagas, de manera que no sea necesario el uso de pesticidas químicos (Rapidel et al., 2010). Los productos de la agricultura orgánica tienden a obtener mejores precios en los mercados locales e internacionales, lo cual muchas veces compensa por el trabajo o las dificultades involucradas en la agricultura orgánica. Muchos pequeños agricultores no pueden afrontar el precio de los agroquímicos, y el SAF orgánico es una alternativa para mantener una productividad aceptable y mejores precios.

Con el manejo orgánico a menudo es necesario el uso de enmiendas para el suelo en forma de compost y otros materiales que tienden a aumentar el C orgánico del suelo (COS), con el consiguiente beneficio en términos de contribuir a la mitigación del cambio climático.(Cowart 2011).

Se encontró un aumento en el COS total, cuando el manejo cambiaba de convencional intensivo, pasando por convencional moderado y llegando a orgánico intensivo. La especie de árbol de sombra no se correlacionó positivamente con el COS, lo cual sugiere que en este experimento el efecto del manejo sobre el COS se relaciona más con el tipo de enmiendas orgánicas utilizado que con la especie de árbol asociado al café. Un menor uso de fertilizantes y herbicidas con el aumento de insumos orgánicos resultaron en un aumento en el COS, especialmente en la fracción gruesa o macroagregados del suelo (Cowart 2011).

Esto indica el potencial del manejo orgánico de los SAF para aumentar el COS, lo que provee numerosos beneficios al suelo, al mismo tiempo que contribuye a reducir los niveles de C atmosférico.

## **Monitoreo de la captura y acumulación de carbono en SAF**

Debido al interés creciente en los proyectos de carbono y a la necesidad de estimar la contribución de diferentes usos de la tierra con referencia a sus funciones como emisores o acumuladores de C, numerosos trabajos han sido realizados recientemente, para evaluar la cantidad de biomasa y C de los diversos componentes de los sistemas. Basadas en mediciones de campo de diámetro, altura y cosecha de biomasa de los componentes arbóreos, han sido desarrolladas ecuaciones alométricas que permiten realizar los cálculos de biomasa y C sin necesidad de cosechar los árboles (Casanova et al., 2010).

Las ecuaciones alométricas para especies utilizadas en SAF, que han sido plantadas, ya que en estos casos las edades son conocidas, en comparación con especies de bosque donde las edades muchas veces no son precisas. Se muestran ecuaciones para troncos, ya que es la parte de la biomasa que almacena C a más largo plazo, aunque en algunos de los artículos se presentan ecuaciones para biomasa total (Cifuentes Jara, M. 2010).

Para usar estas ecuaciones, conviene tener en cuenta el sitio donde se han realizado las mediciones que resultaron en su formulación, ya que el sitio influye fuertemente en la productividad y por ende en la biomasa producida (López, 2010). Asimismo debe tenerse en cuenta la edad de los árboles o sistemas analizados. En los artículos originales los autores según los casos discuten detalles como el uso de diferentes factores de forma aplicados para el cálculo del volumen de los árboles, o presentan diferentes ecuaciones para otras edades de las mismas especies (Montero y Montagnini 2005).

### **Relación Carbono biomasa.**

La reserva de carbono en un árbol individual depende de su tamaño. Los árboles con troncos de 10-19 cm de diámetro pueden tener una biomasa de aproximadamente 135 kg/árbol. Con aproximadamente 900 árboles por ha, la biomasa asociada correspondiente es de 121.50 t/ha (60.75 Mg de C ha<sup>-1</sup>). Aun así, la mayor cantidad de biomasa se encuentra en los escasos árboles realmente grandes. Con un diámetro a la altura del pecho (DAP) menor o igual a 70 cm, la biomasa por árbol podría ser de aproximadamente 20,000 kg (20 t). Con 10 árboles/ha, la correspondiente biomasa sería de aproximadamente 200 t/ha (100

Mg ha<sup>-1</sup>). La tabla que figura a continuación resume este ejemplo. Por lo tanto, las implicancias de los grandes árboles en la biomasa (y en el carbono) por hectárea son muy significativas (Ramos *et al.*, 2005).

### **2.11. Índice de Valor de Importancia (IVI)**

Este índice resulta del valor promedio de la suma de los valores relativos de la abundancia, frecuencia y dominancia (Lamprech, 1990).

El IVI es usado fundamentalmente para comparar diferentes comunidades, en base a las especies que obtienen los valores más altos y que se consideran son los de mayor importancia ecológica dentro de una comunidad en particular (Matteuccis y Colma, 1982).

- Abundancia

La abundancia es el número de árboles por hectárea; se distinguen entre abundancia absoluta (número de individuos por hectárea) y abundancia relativa definida como la proporción porcentual de cada especie en el número total de árboles (Lamprech, 1990).

- Frecuencia

Se llama Frecuencia a la cantidad de veces que se repite un determinado valor de la variable. Se consideran como frecuencia absoluta la regularidad de distribución de cada especie dentro del terreno y frecuencia relativa es el porcentaje de la frecuencia absoluta de una especie en relación con la suma de las frecuencias absolutas de las especies presentes (Lamprech, 1990 citado por Bascopé y Jorgensen, 2005).

- Dominancia

Es el grado de cobertura de las especies, como expresión del espacio ocupado por ellas. Se define como la suma de las proyecciones horizontales de los árboles sobre el suelo. En el análisis forestal, se considera la suma de las proyecciones de las copas, las que resultan de las copas, las que resultan trabajosas y en algunos casos imposibles de medir por ello, generalmente, estas no son evaluadas, sino que se emplean, las áreas basales, calculadas como sustitutos de los verdaderos valores de dominancia (Lamprech, 1990).

El valor del área basal, expresada en metros cuadrados para cada especie es la Dominancia Absoluta y la dominancia relativa es la participación en porcentaje que corresponde a cada especie del área basal total (Lamprech, 1990, citado por Bascopé y Jorgensen, 2005).

Visto así, la dominancia permite medir la potencialidad del medio ambiente y constituye un parámetro muy útil para la determinación de las calidades de sitios, dentro de la misma zona de vida y comparativamente con otras (Cárdenas, 1986).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación geográfica del área de estudio, finca “Maguana”



**Figura 1.** Ubicación geográfica del área de estudio

La investigación se realizó entre febrero a noviembre del 2020 en la finca Maguana, perteneciente a la UBPC Roberto Blet Alpajon, ubicada en la localidad de Maguana, municipio Baracoa de la Provincia de Guantánamo, Cuba, situada en la región costera norte de la provincia, a una altura de 40m msnm (Utria, 2009). La misma posee una extensión total de 48,06 ha, el cultivo principal es el coco (*cocos nucifera*), con dos variedades cobrizo e indio verde, debes dejar claro las características del área de monocultivo y del SAF, edad de cada especie plantada, distancia de plantación, arreglo espacial

#### 3.2 Características climáticas del área de investigación

Se observa que existen altas precipitaciones y bajas temperaturas durante todo el año, alcanzándose el valor más alto de precipitación en el mes de noviembre. La temperatura máxima es de 26 °C, la mínima de 25 °C y la temperatura media de 25,52 °C, debido a las altas precipitaciones causando así un gran período de humedad.

### 3.3. Metodología empleada

Los datos fueron tomados en un sistema agroforestal cocotero de 20 años de edad, con un marco de plantación de 6x6 y una superficie de 48,06 ha. Levantándose un total de 22 parcelas de 20 x 25 m (500 m<sup>2</sup>), distribuida por toda el área, mediante un muestreo simple aleatorio, contabilizando las especies en el estrato arbóreo, con una altura de mayor de 5 m según Álvarez (2006). Para determinar la cantidad de especies en el estado arbóreo, se le determinó el diámetro con una cinta diamétrica y la altura por el método ocular respectivamente.

#### Diversidad de especies

##### Estructura horizontal

Se determinaron los parámetros de la estructura horizontal a través del cálculo de: Abundancia relativa (AR), Dominancia relativa (DR) y Frecuencia relativa (FR), de cada especie (Moreno, 2001), de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Abundancia relativa (AR)} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Número total de individuos de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Dominancia Relativa (DR)} = \frac{\text{Área basal de la especie}}{\text{Área basal de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia Relativa (FR)} = \frac{\text{Número de parcelas en la que está la especie}}{\text{Sumatoria de las frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

Se evaluó el índice de valor de importancia ecológica de las especies (Keels *et al.*, 1997; Lamprecht, 1990), el cual fue obtenido mediante la suma de los parámetros de la estructura horizontal, conforme a la fórmula:

$$\text{IVIE} = \text{AR} + \text{FR} + \text{DR}$$

Este índice revela la importancia ecológica relativa de cada especie en una comunidad vegetal, es mejor descriptor que cualquiera de los parámetros utilizados individualmente (Keels *et al.*, 1997).

## Propiedades físico-químicas

Según la última clasificación de Hernández et al. (2015), es un suelo pardo Fersialítico Pardo Rojizo Mullido Eútrico con una profundidad efectiva que se evalúa de profundo (63 cm.), un límite superior de plasticidad (LSP) en el primer horizonte que se caracteriza de poco plástico y mediana elevación capilar (EC), con valores de pH en KCl que oscilan desde ligeramente ácido (5,7) en la superficie a ácido (4,5) en profundidad; la capacidad de intercambio catiónico (T) (28,3 a 26,2) y los contenidos de Ca intercambiables (16,5 a 16,8), se comportan altos en todo el perfil. Referidos al porcentaje de T, los cationes Mg, K y Na muestran valores cercanos al mínimo permisible (MINAG, 1987) para la generalidad de los cultivos. Es un suelo con bajos contenidos de materia orgánica en sus horizontes inferiores y valores muy bajos de  $P_2O_5$ . Los valores de  $K_2O$  van de medios a bajos (Tablas 1 y 2).

**Tabla 1.** Análisis físico del suelo representativo del área experimental.

Horizonte	Profundidad	Hy	LSP	EC
		(%)	(cm)	(mm)
AB	0 – 21	3,5	53,51	168
B	21 – 46	4,3	52,58	168
BC	46 – 63	4,7	56,54	250

**Leyenda:** Hy= humedad higroscópica; LSP= límite superior de plasticidad y EC= elevación capilar.

**LSP:** muy poco plástico < 50, poco plástico 50-70, plástico 70-90 y muy plástico > 90

**EC:** muy baja < 50, baja 50-149, mediana 150-249, alta 250-349 y muy alta > 349

**Tabla 2.** Análisis químico del suelo representativo del área experimental.

H.	pH		Ca	Mg	K	Na	S	T	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	H <sub>2</sub> O	KCl	Cmol.Kg <sup>-1</sup>						mg/100g	
AB	6,4	5,7	16,5	16,9	0,2	0,3	23,9	28,3	3.2.	4.6
B	5,7	4,5	16	9	0,2	0,3	25,5	26,2	2,5	3.3
BC	5,6	4,4	16,8	9,8	0,2	0,35	27,1	26,4	-	-

**Leyenda:** H.= horizonte; S= suma de bases cambiables y T= capacidad de intercambio catiónico.

El pH fue determinado por el método del potenciómetro, los contenidos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y MO por colorimetría, teniendo en cuenta para las determinaciones del fósforo asimilable, el método de Machiguin para suelos carbonatados. Para el caso del K<sub>2</sub>O se utilizó el método de Fotometría de llama. La densidad aparente de los suelos fue determinada para una sola muestra representativa del lugar teniendo en cuenta la masa seca de la muestra de suelo tomada y el volumen conocido de un cilindro según la fórmula  $Da = m/Nv$ . (ISO 11464, 1999. *Calidad del suelo. Pre tratamientos para análisis físicos-químicos*)

#### **Estudio de algunas propiedades físico-químicas de los suelos.**

Los niveles de Materia Orgánica, Porosidad total y Densidad Aparente se evaluaron acorde a las categorías propuestas por Cairo (2006) (ver anexos 1, 2 y 3).

#### **Contenido de materia orgánica.**

Para el cálculo de materia orgánica se utilizó un gramo de suelo tamizado a 0.5 mm de cada horizonte; para su análisis se empleó la metodología propuesta por Walkley y Black. Su categoría de evaluación fue determinada según (Cairo, 2006).

#### **Estudio de la densidad aparente y porosidad total de los suelos.**

La Densidad Aparente (DA) y Porosidad total (Pt) fueron calculadas en tres profundidades del suelo (0-20 cm, 21-50 cm y de 51-100 cm), correspondiendo a los tres horizontes presentes en cada perfil realizado (según se señala en el acápite 3.2).

Para determinar la DA se utilizó el método del cilindro que consiste en introducir en el suelo un cilindro metálico, extraer la muestra y secarla en un horno a 100 °C por 72 horas, y posteriormente determinar su peso. El volumen interior del cilindro utilizado es de 244 cm<sup>3</sup>.

El cálculo de la Densidad Aparente se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$d = \frac{m}{N}$$

**Donde:**

d: Densidad aparente

m: Masa de suelo seco en la estufa

V: Volumen del cilindro

N: Cantidad de cilindros tomados

El volumen del cilindro es igual a:  $\pi * r^2 * H$ . siendo r el radio interior del cilindro y H su altura.

La Porosidad total se calculó según la fórmula:

$$Pt = (1 - DA / D) * 100$$

DA= Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

D= Densidad real del suelo (g/cm<sup>3</sup>)

Pt = Porosidad total (%).

#### **3.4. Determinación de la captura de carbono del SAF cocotero**

La retención de carbono en el SAF cocotero se evaluó por la metodología de Mercadet y Álvarez (2005); Mercadet y Álvarez (2009).

La biomasa es el peso seco del material vegetal de los árboles descrito por Dauber *et al.* (2001), acumulado como resultado del proceso de fotosíntesis, en el cual ocurre la fijación del carbono atmosférico. El cálculo del carbono retenido por la biomasa en el sistema agroforestal cocotero se describe a continuación:

- La Biomasa del fuste se estimó multiplicando, el volumen de los fustes de árboles por la densidad básica (anexo 2) de la madera entre 1000:

$BMF (t) = \text{volumen (m}^3) \times \text{densidad básica de la especie (kg/m}^3) / 1000$ .

- La biomasa correspondiente a las ramas y follaje (biomasa aérea), se calculó utilizando el Factor de Expansión de la Biomasa (FEB) cuyo valor es 1,74 (Brown, 1997 y Segura, 2001), quedando:

$BMA (t) = BMF (t) \times FEB (s/u)$ .

- La biomasa de las raíces (BMR) se estimó multiplicando la biomasa del fuste por el valor por defecto 0,3 (Loguercio, 2002):

$BMR (t) = 0,3 \times BMF (t)$ .

- La biomasa total (BMT) fue calculada como la suma de sus componentes.

$BMT (t) = BMF (t) + BMA (t) + BMR (t)$ .

- El carbono retenido (CR) por las especies se calculó utilizando la fracción de carbono en la madera (FCM) determinada para las condiciones de Cuba por Mercadet *et al.* (2011).

$CR (t) = BMT (t) \times FCM (s/u)$ .

- El carbono retenido en la biomasa total (CRBT) se calculó utilizando la fracción de contenido de carbono en la madera (FCCM) determinada para las condiciones de Cuba por Mercadet *et al.* (2011):

$CRBT (t) = BMT (t) \times FCCM$

### **Densidad aparente y peso del suelo**

Para C total del suelo, se realizó una mini calicata en cada uno de los transectos y cuadrantes, se tomaron muestras de suelo en forma estratificada (0–10, 10–20 y 20–30 cm de profundidad); en cada estrato se colocaron cilindros Uhland de volumen conocido y se llevó a la estufa a 105 °C por 24 h para estimar la densidad aparente del suelo (Agostini *et al.*, 2014).

Se obtuvieron muestras de 500 g de suelo en promedio para determinación de materia orgánica y cálculo del C (Walkley y Black, 1934).

### **Cálculo del peso del suelo (t/ha)**

Para determinar el peso del suelo, se evaluó la densidad aparente del suelo por cada uno de los horizontes evaluados. El peso fue multiplicado por el porcentaje

de carbono, dando como resultado el carbono orgánico en t/ha (Eyherabide et al., 2014).

El carbono edáfico (CS) se estimó a partir de la materia orgánica contenida en el suelo. Tal como se reporta en la literatura internacional, el carbono edáfico es el resultado de la división del porcentaje de materia orgánica (%MO) entre 1,7 (McVay y Rice, 2002).

La materia orgánica se determinó en cuatro muestreos; para ello se seleccionaron dos diagonales del área y en cada una se tomó una muestra homogénea en cinco puntos, a una profundidad de 0-20 cm (Henríquez, 1999).

Con este valor se determinó el C almacenado en el suelo (CAS, t C ha<sup>-1</sup>), partiendo del área en términos de hectáreas (A (ha)),

- Conversión del carbono calculado a carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e):

Para calcular cuánto representó el carbono retenido, en toneladas de CO<sub>2</sub> removido de la atmósfera, se multiplicó por 44/12 (3,67 t CO<sub>2</sub>), que es la relación existente entre el peso total de la molécula de CO<sub>2</sub> (44) y del átomo de carbono (12) (Segura, 2001).

### **3.5. Análisis estadístico**

Los datos se ubicaron en el programa Microsoft Excel para la confección de las tablas y gráficos y en Microsoft Word para la realización del texto, utilizándose el paquete estadístico SPSS versión 23, en el procesamiento del análisis de varianza simple, utilizando la dócima de comparación de rangos múltiples de Duncan para un grado de probabilidad del error de un 0,05 %.

### **3.6. Valoración económica**

El valor del secuestro de carbono se estimó de forma directa, a partir de los precios de mercado disponibles por tonelada de carbono (C), para lo que se tomó como referencia el trabajo de Oliveira (1996), citado por Miranda (2007).

Actualmente los derechos de secuestro de carbono se comercializan en el mercado internacional a un precio de US\$0,01 kg C<sup>-1</sup>y US\$10 T C<sup>-1</sup>. Este precio representa la voluntad por un beneficio ambiental y por tanto puede ser aplicado a la cantidad de carbono secuestrado en los SAF.

## **IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Comportamiento de la vegetación forestal en el inventario sistemático**

Según Osorio (2013), la composición florística está dada por la heterogeneidad de plantas que se logran identificar en una determinada categoría de vegetación. Lo que equivale a demostrar la riqueza de especies vegetales de un determinado tipo de vegetación.

Como resultado del inventario sistemático realizado en el SAF cocotero se muestrearon un total de 789 árboles, cuya composición florística está formada por 13 especies identificadas, pertenecientes a 10 familias botánicas

Para Orozco y Brumér (2002), el inventario forestal es un procedimiento útil para obtener información necesaria para la toma de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal. El término “inventario forestal” ha sido utilizado en el pasado como sinónimo de “procedimiento para la estimación de recursos leñosos (principalmente maderables comerciales) contenidos en un bosque.

Las familias botánicas de mayor presencia en el área fueron Arecaceae, Annonaceae, Myrtaceae, sobresaliendo Arecaceae ya que en esta familia se encuentra el cultivo principal del SAF, la misma tuvo una representación del 52,73 %.

Malleux (1987), indica que el inventario forestal es un sistema de recolección y registro cuali-cuantitativo de los elementos que conforman el SAF, de acuerdo a un objetivo previsto y en base a métodos apropiados y confiables.

Padilla (1992), manifiesta que los principales parámetros que se consideran en un inventario forestal son: especies, diámetro, altura comercial, defectos del árbol, forma de copa, lianas trepadoras y calidad del árbol.

Según Pineda, (2011) las familias botánicas antes mencionadas son comunes en SAF cocotero, pues adicionalmente generan beneficios paralelos a través de la producción de forraje, abono orgánico, frutas y madera.

La estructura arbórea es un indicador adecuado de la biodiversidad (Solís *et al.*, 2006; Ozdemir *et al.*, 2012), por lo que los árboles son los elementos más relevantes de la estructura del ecosistema forestal (Del Río *et al.*, 2003) y la estructura arbórea sirve para evaluar el estatus de un ecosistema.

Este último cambia fácilmente al aplicar tratamientos silvícolas, modificándose la estructura del bosque (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008; Motz, , *et al.*, 2010), lo que quiere decir que la estructura actual de un bosque es el resultado de procesos que han ocurrido en el pasado y que han determinado la composición de especies, su distribución espacial y la frecuencia de tamaño de individuos dentro de poblaciones.

#### **4.2. Análisis de la diversidad florística del área de estudio**

##### **Comportamiento de la Frecuencia relativa**

La frecuencia relativa es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas. La tabla muestra la dinámica de este parámetro para el área de estudio, las especies que tuvieron una mayor frecuencia, entre ellas las más sobresaliente fueron *P. guajaba*, *C. nucifera* y *M indica* con 18.702%, 18.421% y 14.038% respectivamente. Este índice nos permitió determinar las especies más frecuentes presentes en el área, es decir las que más se repitieron a través de las parcelas muestreadas.

La frecuencia expresa la presencia o ausencia de una especie en áreas de igual tamaño dentro de una comunidad (Lamprecht 1962). Este parámetro resulta ser un indicador de la diversidad o de la complejidad florística de la asociación dentro de la comunidad forestal.

Por lo que estos valores obtenidos evidencian lo expuesto por Sánchez *et al.*, 2001, el cual plantea que el cocotero puede prosperar favorablemente en terrenos donde otros cultivos oleaginosos no pueden hacerlo, como son los suelos arenosos-salinos de las costas siendo capaz de adaptarse a condiciones ecológicas restrictivas para otros cultivos, así como también intercalarse con otros cultivos sin perjudicar la producción de estos (Zizumbo, 2003).

Por lo que la frecuencia, está ligada con la estabilidad del SAF, ante factores bióticos y abióticos, por lo que evaluar esta variable es importante para el manejo del sistema y la generación de servicios directos e indirectos (Del Río *et al.*, 2003; Jardel, 2011).

**Tabla 1.** Comportamiento de la abundancia, frecuencia y dominancia relativa del área de estudio

<b>Nombre Científico</b>	<b>AR</b>	<b>FR</b>	<b>DR</b>
<i>Annona cherimola</i>	0.265	1.754	0.032
<i>Crescentia cujete</i>	0.661	1.754	0.268
<i>Annona squamosa</i>	1.323	4.386	0.282
<i>Citrus cinensis</i>	1.323	1.754	0.325
<i>Persea americana</i>	0.926	2.632	0.460
<i>Cedrela odorata</i>	3.175	4.386	0.861
<i>Ficus trigonata L.</i>	0.529	3.509	0.957
<i>Annona muricata</i>	6.878	14.033	1.445
<i>Psidium guajaba L</i>	26.852	18.702	1.957
<i>Samanea Saman</i>	0.529	1.754	2.933
<i>Manguifera indica</i>	4.894	14.038	9.339
<i>Roystonea regia</i>	8.201	13.158	20.876
<i>Cocus nucifera</i>	44.444	18.421	60.263

### **Comportamiento de la abundancia relativa**

La abundancia relativa toma en cuenta el valor de importancia de cada especie, e índices de heterogeneidad, aquellos que además del valor de importancia de cada especie consideran también el número total de especies en la comunidad. Las especies con mayores valores de representatividad son: *C. nucifera*, *P.guajaba* y *R.regia*.

Uno de los mayores problemas detectados y que ha influido negativamente en este parámetro ha sido la acción de fenómenos naturales (ciclones, huracanes) que han debilitado la cubierta vegetal del suelo, al contar el sistema radical con

una profundidad limitada por las propias características de suelo, dígase poca profundidad y pedregosidad.

Lamprecht (1990) define a la abundancia relativa como la proporción de cada especie en porcentaje del número total de árboles registrados en la parcela de estudio. Por lo que permite definir y asegurar con exactitud, que especie (s) tienen mayor presencia o participación en el SAF, siendo *C. nucifera* la de mayor participación con un 44,44%

### **Comportamiento de la dominancia relativa**

La dominancia relativa se basa en parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad y toman en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia, sin evaluar la contribución del resto de las especies.

Del Risco (2006), define que desde el punto de vista silvicultural la medida más importante de la organización horizontal es el área basal ( $m^2/ha$ ). Louman & Stanley (2002), refieren que, al usar el parámetro de área basal y si una especie posee altos valores, significa que posee mejor calidad de sitio; esto es un indicador del nivel de competencia en el dosel y grado de desarrollo del SAF.

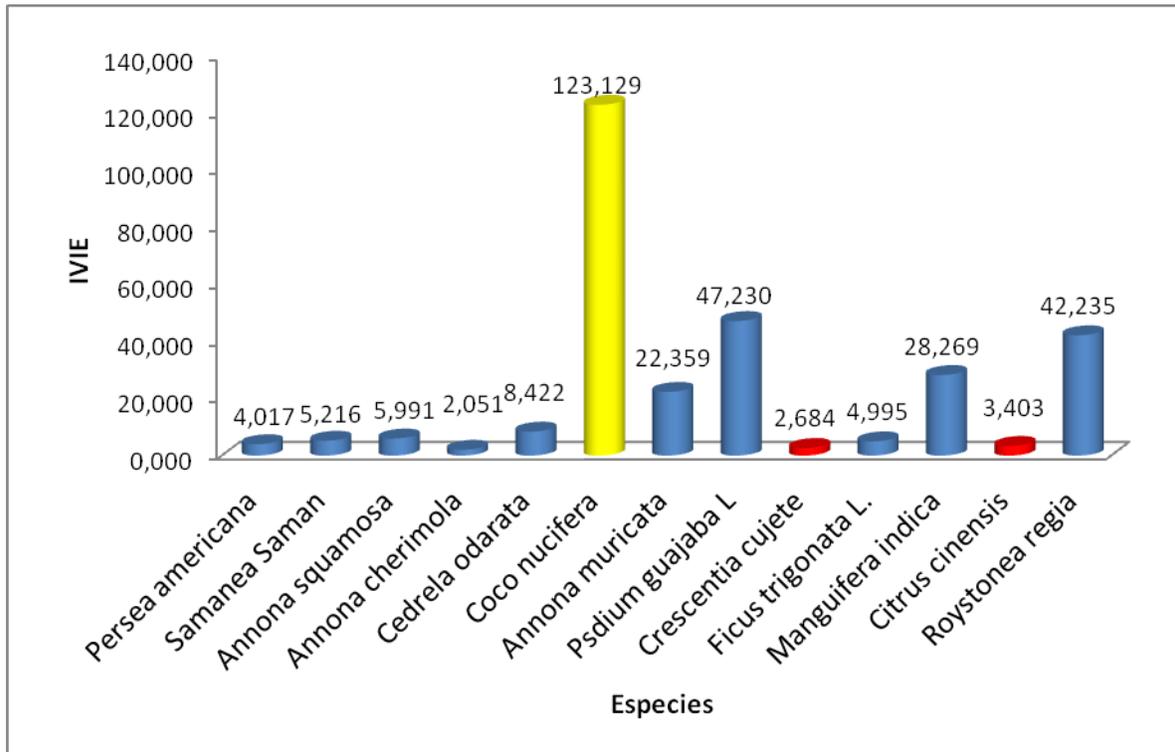
La dominancia relativa se calcula como la proporción del área basal de una especie en relación al área basal total en porcentaje. En el área de estudio las especies de mayor dominancia son *C. nucifera* y *R.regia* las cuales poseen un área basal de  $2.6246 m^2$  y  $0.9092 m^2$

La evaluación de masas forestales mediante indicadores de diversidad como la dominancia relativa, sirve para describir la relación de las especies de una población (Hernández et al., 2013). Este indicador se puede determinar en diferentes ecosistemas forestales (Gavilán y Rubio, 2005).

Desde el punto de vista técnico, la gestión forestal requiere contar con información sobre la estructura, crecimiento, producción y regeneración natural, tanto de las especies de valor comercial, como de las que aún tienen un valor económico desconocido para detectar cambios en el estado de los mismos o para definir las prácticas que conduzcan a alcanzar un manejo sustentable (Aguirre et al, 2008).

### **Índice de Valor de Importancia (IVI)**

En la figura del presente estudio se presenta los resultados obtenidos de los parámetros abundancia relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa, que hacen posible obtener el índice de valor de importancia para cada una de las especies registradas en el inventario forestal



**Figura.** Índice de Valor de Importancia (IVIE)

El llamado índice de valor de importancia (IVI) formulado por Bermeo (2010), es calculado para cada especie a partir de la suma de valores relativos de abundancia, frecuencia y dominancia. Con éste índice es posible calcular el “peso ecológico” de cada especie, dentro del tipo de bosque correspondiente. La obtención de índices de valor de importancia similares para las especies indicadoras, sugiere la igualdad o por lo menos la semejanza del bosque en su composición, en su estructura, en lo referente al sitio y a la dinámica.

El valor máximo relativo del IVI es de 300 %, cuando más se acerque una especie a este valor, mayor será su importancia ecológica y dominio florístico sobre las demás especies presentes; este parámetro está influenciado por la forma y tamaño de la unidad muestral.

En la figura se observa el IVIE para las especies registradas en la evaluación del SAF, donde aparece un grupo de dos especies representativas para este tipo de sistema agroforestal con un total de 165,36% de participación en la estructura del bosque evaluado, estas especies son: *C. nucifera* y *R. regia*

Cabe resaltar que el cocotero constituye una planta de enorme importancia para el mantenimiento del equilibrio ecológico debido a que su sistema radicular contribuye a retener y estabilizar los suelos y es un importante sumidero de carbono, contribuyendo de este modo a la disminución de los gases de efecto invernadero (Zizumbo, 2003).

Gracias a su gran adaptación en lugares costeros, existe una importante oportunidad de complementación y sinergia entre la actividad turística, la provisión diversificada de alimentos y otros productos y el desarrollo de actividades agroecoturísticas (Zizumbo, 2003).

Las especies de mayores índices son consideradas de gran importancia para planes futuros de reforestación o restablecimiento de este bosque, porque son las indicadoras del área y las que mejores se van a adaptar a las condiciones edafoclimáticas, lo que garantiza una mayor probabilidad de la supervivencia de las mismas.

### **4.3. Evaluación de las propiedades físico-químicas del área de estudio**

#### **Contenido de materia orgánica.**

Según Ibrahim *et al.* (2005) mantener la calidad del suelo no solo es bueno para la actividad agrícola, también para mantener los servicios ecosistémicos del suelo, mejora la calidad del medio ambiente y reduce la contaminación. Problemas que refiere como complejos porque se involucran factores asociados al clima, las plantas el suelo y los humanos, para lo que sugiere usar adecuadamente los fertilizantes, aumentar la eficiencia del uso del agua, rotación de cultivos, controlar la erosión del suelo, enfermedades y plagas.

El suelo de la finca Maguana, perteneciente a la UBPC Roberto Blet Alpajon presenta las siguientes características físicas: poseen suelos con partículas muy finas que presentan textura franco arenoso, con una estructura granular, con

coloración pardo rojiza, la profundidad del primer horizonte se encuentra en una proporción equilibrada, teniendo una pedregosidad <5 %.

**Tabla 1.** Características Físicas del Suelo

Áreas	Profundidad (cm)	Textura	Estructura	Pedregosidad %
<b>Monocultivo</b>	0-21	Franco Arenosa	Granular	< 5 %
	21-46	Franco Arenosa	Granular	< 5 %
	46-63	Franco Arenosa	Granular	< 5 %
<b>Intercalado</b>	0-21	Franco Arenosa	Granular	< 5 %
	21-46	Franco Arenosa	Granular	< 5 %
	46-63	Franco Arenosa	Granular	< 5 %

Por los resultados que se muestran, tanto la profundidad pedológica como la profundidad efectiva de estos suelos es inferior a los 70 cm de profundidad, llegando en la mayoría de los puntos a ser solo superficie compacta de afloramientos rocosos de calizas duras, resultados que se corroboran con los emitidos por DPSG (2010) a través del mapa topográfico digital a escala 1:250000 de la Provincia de Guantánamo y los informes emitidos por MINAG (2012).

El grado de inclinación de la pendiente en el entorno de estudio es evaluado de ondulado 5%, lo que justifica en un área casi carente de cubierta protectora, los altos niveles de erosión presentes, acelerados por un drenaje excesivo que arrastra continuamente, durante el período lluvioso, cualquier producto resultante de la meteorización física y química que pueda tener lugar en tales condiciones.

Resultados mucho menos contrastantes a éstos fueron los obtenidos por Vega (2014) al realizar un diagnóstico en las áreas agrícolas de la finca No. 1 de

Antonio Barzaga del polígono antierosivo Tumbalabana, municipio Moa, comprobando que la profundidad efectiva de los suelos variaba desde suelos poco profundos hasta profundos con topografía fuertemente ondulada.

Según Cruz y Cáceres (1986), fundamentado por Dorrnsoro (2004) al explicar que cuando tiene lugar una destrucción significativa de la vegetación (de origen natural como una avalancha, o de origen humano) causa una perturbación muy importante en el sistema, dejando a la erosión que se erija como la mayor responsable de la destrucción de los horizontes más superficiales del suelo, lo que origina un fenómeno de reversión a las condiciones primitivas.

Por otro lado la estructura de suelo es la agrupación de partículas de arena, limo y arcilla, llamados agregados y están dispuestos en varios patrones. La estructura del suelo puede ser evaluada describiendo la estabilidad de los agregados y distribución de tamaño de poro, características que pueden cambiar según el sistema de cultivo y la preparación del suelo (Beare *et al.*, 2014). El área de estudio presenta una estructura granular lo cual explica el grado de basicidad de las partículas, desprendidas de las rocas calizas duras, rocas de gran resistencia a la meteorización física, pero solubles a la acción del agua de lluvia y de los ríos (especialmente cuando se encuentran aciduladas por el ácido carbónico) que crea un tipo de meteorización característica, según criterios de Cairo y Fundora (2005).

El término materia orgánica del suelo (MOS) se utiliza para describir los constituyentes orgánicos en el suelo en diversas etapas de descomposición, tales como tejidos de plantas y animales muertos, materiales de menos de 2 mm de tamaño y organismos del suelo.

La renovación de MOS desempeña un papel crucial en el funcionamiento del ecosistema del suelo y el calentamiento global. La MOS es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes de las plantas, y el mantenimiento de la capacidad de retención de agua, lo que la convierte en un indicador clave no sólo para la productividad agrícola sino también para la resiliencia ambiental (Rodríguez, C 2014).

La descomposición de MOS libera nutrientes minerales, lo cual los hace disponibles para el crecimiento de las plantas (Van der Wal y de Boer, 2017), contribuyendo un mejor crecimiento de las plantas y una mayor productividad a garantizar la seguridad alimentaria.

En la tabla se observa que el contenido de materia orgánica (MO) en los seis perfiles estudiados, fue superior en áreas del SAf cocotero intercalado bajo cobertura de frutales (guayaba, mango, anon) respecto a las áreas de monocultivos.

Perfil	Áreas	H	P	Densidad. A		Porosidad T		Materia O		C(%)
				g/cm <sup>3</sup>	Cate g	%	Cate g	%	Cate g	
I	Monocultivo	AB	0-21	1.03	Baja	63	Alta	2.8	Medio	1.51
		B	21-46	1.12	Baja	57	Alta	1.5	Bajo	1.24
		C	46-63	1.54	Alta	45	Baja	-	Bajo	0.86
II	Intercalado	AB	0-21	1.05	Baja	62	Alta	3.44	Medio	2.36
		B	21-46	1.14	Baja	58	Alta	1.9	Bajo	2.11
		C	46-63	1.29	Mediana	50	Mediana	0.58	Bajo	0.98

El contenido de MO fue superior en los horizontes del perfil II, así como una mejor distribución de la misma en los horizontes AB y C en relación con las áreas bajo monocultivos

**Tabla 2.** Propiedades físico-químicas analizadas al suelo Fersialítico Pardo Rojizo Mullido Eútrico

**Leyenda:** H- horizontes, P- profundidad efectiva, C-carbono

Los resultados anteriores pueden atribuirse a que en los suelos bajo cultivos perennes se obtiene una mayor acumulación de residuos orgánicos, como hojarasca, ramas, restos de frutos, etc., los que en el proceso natural de descomposición constituyen la necromasa superficial, la cual contribuye al aumento del contenido de MO en la capa arable del suelo. También, las raíces de los árboles penetran a mayores profundidades, sobrepasando en ocasiones el horizonte B. Se coincide con Mejía *et al.* (2004), quienes plantean que el uso del suelo determina en gran medida la descomposición de la materia orgánica y por consiguiente el contenido de Carbono.

El contenido de MO en los diferentes horizontes del perfil I (monocultivo) osciló entre  $2.8 \pm 1.5\%$ , mientras que en los de los suelos del perfil II (intercalado) fluctuó entre  $3.44 \pm 0.58\%$ . La tendencia general de evaluación para los niveles de MO fue de categoría BAJO para ambos perfiles de suelo.

La materia orgánica mejora la agregación del suelo y la estabilidad estructural que, junto con la porosidad, son importantes para la aireación del suelo y la infiltración de agua en el suelo. Mientras que el crecimiento de las plantas y la cobertura superficial pueden ayudar a proteger la superficie del suelo, una estructura edáfica estable y bien agregada que resista el sellado de la superficie y continúe infiltrando agua durante intensos eventos de lluvia disminuirá el potencial de inundaciones aguas abajo.

#### **Densidad aparente y porosidad total.**

Los valores de densidad aparente y porosidad total de los suelos en las áreas estudiadas fueron variables, y guardaron relación con el contenido de materia orgánica y Carbono en cada perfil evaluado, estrechamente ligado al tipo de uso de la tierra. Se aprecia claramente que en los suelos de las áreas intercaladas establecidas, se presentó una mayor porosidad total, condicionada por la menor densidad aparente de los mismos, la que estuvo influenciada por el mayor contenido de MO en estos suelos.

Se observa que en las áreas de monocultivo, presentan valores bajos de porosidad total y altos de densidad aparente.

Según plantean Ingaramo *et al.* (2003) la densidad aparente del suelo es variable y está influenciada por múltiples factores como el contenido de materia orgánica el tipo de suelo y el microclima del área, mientras que la densidad real es más o menos constante para cada tipo de suelo.

En los diferentes perfiles de suelo evaluados, las categorías más favorables de Densidad Aparente y Porosidad total, se obtuvieron en las áreas intercaladas, debido a la estrecha relación de estas propiedades con el contenido de MO en el suelo.

En general, se observó diferencia entre las áreas que fueron sometidas a cultivos intercalados con relación a las áreas bajo monocultivos siendo las propiedades de los suelos de estas últimas las menos favorables.

La porosidad determina la capacidad del suelo para retener el agua y controla la transmisión del agua a través del suelo. Además de la porosidad total, la continuidad y la estructura de la red de poros son importantes para estas funciones, así como para la función adicional de filtrar los contaminantes en flujos (FAO, 2015). Otras funciones del suelo relacionadas con el agua y sus consecuencias en términos de mejora de la calidad del agua para la producción de alimentos se enumeran en la Tabla 2. Por último, el agua almacenada en el suelo sirve como fuente para el 90 por ciento de la producción agrícola mundial y representa alrededor del 65 por ciento del agua dulce global (Amundson et al., 2015).

Vargas & Miranda, 2018) evaluó los valores de la densidad aparente a profundidades de (0-10cm) y (10-20cm) a nivel del suelo, donde se determinó que la densidad aparente es mayor a profundidad de (10-20 cm). Alvarado, Andrade, & Segura (2013) indican que el valor de densidad aparente depende de factores, como el contenido de materia orgánica y carbono orgánico y estas están relacionada directamente.

El comportamiento de la materia orgánica y el carbono orgánico en relación de la densidad aparente entre nuestras unidades en estudio confirma lo mencionado por el autor, ya que se encontró mayor concentración de materia orgánica en el sistema agroforestal y siendo menor la densidad aparente, puesto que la densidad aparente del suelo y el contenido de carbono orgánico, a medida que se incorpora mayor carbono orgánico al suelo, disminuye la densidad aparente y, por ende, la compactación.

Alvarado & Forsythe (2005) indican que la densidad aparente encontrada en las plantaciones de cotoero calculadas son óptimas para el establecimiento de los sistemas agroforestales, debido a que valores entre 0.7 y 0.9 g cm<sup>-3</sup> no afectan el crecimiento del sistema radicular de los cultivos, al contrario, favorecen la

utilización de actividades agrícolas que reducen la posibilidad de compactarlos y erosionarlos.

Este comportamiento está relacionado directamente al grado de la descomposición de las hojas y posteriormente agregándose como materia orgánica en el suelo. Ya que esto es influenciado directamente por el clima. Rodríguez (2014) Menciona que la variación del contenido de materia orgánica en el suelo, dependen de factores como el clima (precipitación, altitud, Temperatura) y el tipo de uso que se da al suelo

#### 4.4. Estudio del contenido de Carbono almacenado en los suelos

Los niveles de Carbono retenido en el suelo de las áreas bajo árboles intercalados fueron superiores a los encontrados bajo monocultivos, lo cual está determinado por el contenido mayor de MO en estas áreas, según se mostró en la tabla anterior.

La MOS contiene aproximadamente 55-60 por ciento de C en masa. En muchos suelos, este C comprende la mayor parte o la totalidad de las reservas de C - a las que se hace referencia como COS - excepto cuando aparecen formas inorgánicas de C del suelo (FAO, 2015).

**Tabla 3.** Niveles de Carbono retenido (t ha<sup>-1</sup>) en tres profundidades diferentes de cada perfil de suelo estudiado

Perfil	Áreas	Profundidad	Carbono retenido
		(cm)	(t/ha <sup>-1</sup> )
I	Monocultivo	0-21	32.83
		21-46	46.12
		46-63	57.75
II	Intercalado	0-21	41.91
		21-46	52.05
		46-63	64.03

La proporción de COS lábil en relación al COS total, más que la reserva total de COS propiamente dicha, influye en el secuestro de COS y en la salud del suelo (Blair et al., 1995). Se ha demostrado que la fracción lábil de carbono es un

indicador de las propiedades químicas y físicas fundamentales del suelo. Por ejemplo, se demostró que esta fracción era el factor principal en el control de la descomposición de agregados en ferralsoles (arcillas rojas inquebrantable), obtenida a partir del porcentaje de agregados que miden menos de 0,125 mm en la corteza superficial después de la lluvia simulada en el laboratorio (Bell et al., 1998, 1999).

En relación a la acumulación de carbono edáfico sobresale el área de especies intercaladas Ibrahim *et al.* (2005) plantearon que el potencial de retención de Carbono de los sistemas agroforestales puede variar entre 20 y 204 t ha<sup>-1</sup>, estando la mayoría de este Carbono almacenado en el suelo.

El carbono orgánico del suelo tiene un efecto importante en la agregación de las partículas del suelo, existiendo una relación entre tamaño de los agregados y contenido de COS. Mientras mayor es el contenido de COS lábil, mayor es el tamaño de los agregados. A su vez, los agregados de menor tamaño están asociados a la fracción altamente humificada con período de residencia en el suelo mayor a siete años.

La fracción resistente o estable del carbono orgánico del suelo contribuye principalmente a la capacidad de retención de nutrientes del suelo (capacidad de intercambio catiónico). Además, debido a que esta fracción de carbono orgánico se descompone muy lentamente, es especialmente interesante en términos de secuestro de COS a largo plazo.

En general, el ciclo del carbono y el secuestro de carbono son más activos en los horizontes superficiales del suelo, mientras que el carbono estabilizado con tiempos de rotación más largos constituye una mayor proporción del COS total encontrado en los horizontes profundos del suelo (Trumbore, 2009; Rumpel et al., 2012). Beare et al., (2014) estimaron que, a mayor profundidad, los suelos tienen una mayor capacidad de almacenar C adicional en comparación con las capas superiores, debido a una mayor diferencia entre el contenido de COS existente y el valor de saturación de COS.

La acumulación de C estabilizado con largos tiempos de residencia en horizontes profundos del suelo puede deberse al transporte continuo, a la inmovilización

temporal y al procesamiento microbiano dentro del perfil del suelo (Kaiser y Kalbitz, 2012) y/o a la estabilización eficiente de la materia orgánica derivada de la raíz en la matriz del suelo (Rasse et al., 2005). Lorenz y Lal (2016) enfatizaron que los subsuelos tienen el potencial de almacenar 760-1520 Pg de carbono adicional. Las previsiones actuales sugieren que la respuesta del carbono del suelo frente al cambio climático va desde pequeñas pérdidas hasta ganancias moderadas. La predicción de los efectos compuestos del cambio climático en los suelos es extremadamente difícil debido a las complejas interacciones entre temperatura y humedad, aumento de la productividad y de la descomposición, y variaciones según las regiones y los tipos de suelo (Keestrea et al.2016).

#### **4.5. Biomasa vegetal total del sistema agroforestal**

La biomasa aérea retenida en el estrato superior de los SAF mostró un incremento conforme aumentó su edad, aportaron mayor biomasa al igual que las plantas de cocotero. Las biomásas aéreas totales de los arreglos forestales (monocultivo y coco intercalado con frutales) tuvieron valores de 88,36 y 135,82 t ha<sup>-1</sup> de C respectivamente; debido a que las especies forestales al desarrollarse con el tiempo, son más vigorosas y por lo tanto producen mayor acumulación de biomasa. Es necesario considerar que las tasas de almacenamiento de carbono dependen de la edad y densidad de plantas, fertilidad, tipo de suelo y características del sitio (factores climáticos) y el manejo silvicultural al que se vea sometido el SAF (Vega et al., 2014).

En el componente arbóreo, la raíz a pesar de representar un carbono de mayor permanencia, ha sido poco estudiada porque se le atribuye un alto grado de dificultad (Dixon, 1995; Schlegel, 2001), a pesar de representar entre el 10 y 40% de la biomasa total (Cairns et al., 1997; Andrade e Ibrahim, 2003), en este estudio la raíz acumula el 18% de la biomasa del árbol. Cuantificar la biomasa radical es un esfuerzo que debe reconocerse en este estudio por la poca disponibilidad de información existente para la diversidad de especies.

El arreglo intercalado presenta más biomasa que el monocultivo, reafirmando que los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan valores

más altos de acumulación de carbono. Estadísticamente se determinó que existieron diferencias estadísticas entre los arreglos ( $p \leq 0,01$ ), debido a que el arreglo intercalado, los componentes arbóreos son más vigorosos y contenían mayor biomasa.

En el componente arbóreo la raíz acumuló el 14.07% de la biomasa total (19.188 t ha<sup>-1</sup>) y los componentes leñosos, fuste y ramas- el 85.93%(116.627 ha<sup>-1</sup>), similar a lo citado por Anguiano, Aguirre y Palma, (2013) quienes reportan cifras entre 85 y 98% incluyendo las hojas. La biomasa aérea de los árboles fue de 75,025 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 2.** Biomasa vegetal total del sistema agroforestal (media  $\pm$  error estándar)

SAF	Componentes del sistema			
	Biomasa fuste	Biomasa aérea	Biomasa raíces	Biomasa total
<b>Cocotero</b>				
<b>Intercalado</b>	41,602	75,025	19,188	135,82 $\pm$ 9,42 <sup>a</sup>
<b>Monocultivo</b>	27,12	44.551	16,685	88,36 $\pm$ 6,74 <sup>b</sup>
<b>%CV</b>				<b>24,18</b>
<b>P-Valor</b>				<b>&lt;0.0001</b>

***Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Duncan.***

La Biomasa total es influenciada por el cocotero, especies forestales y estratos inferiores existentes, los mismos que generan hojas y ramas o mulch, que se descomponen generando altos valores de biomasa para el componente de hojarasca, para el componente herbáceo fue menor ya que el crecimiento de éste está directamente relacionada con el ingreso de la radiación solar que determina la capacidad fotosintética, y si es mínimo entonces es menor la formación de la biomasa herbácea (Córdoba y Hernández, 2009).

Las plantas utilizan CO<sub>2</sub> y liberan O<sub>2</sub> durante el proceso de la fotosíntesis. A diferencia de las especies anuales, los árboles almacenan los fotoasimilados en componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono.

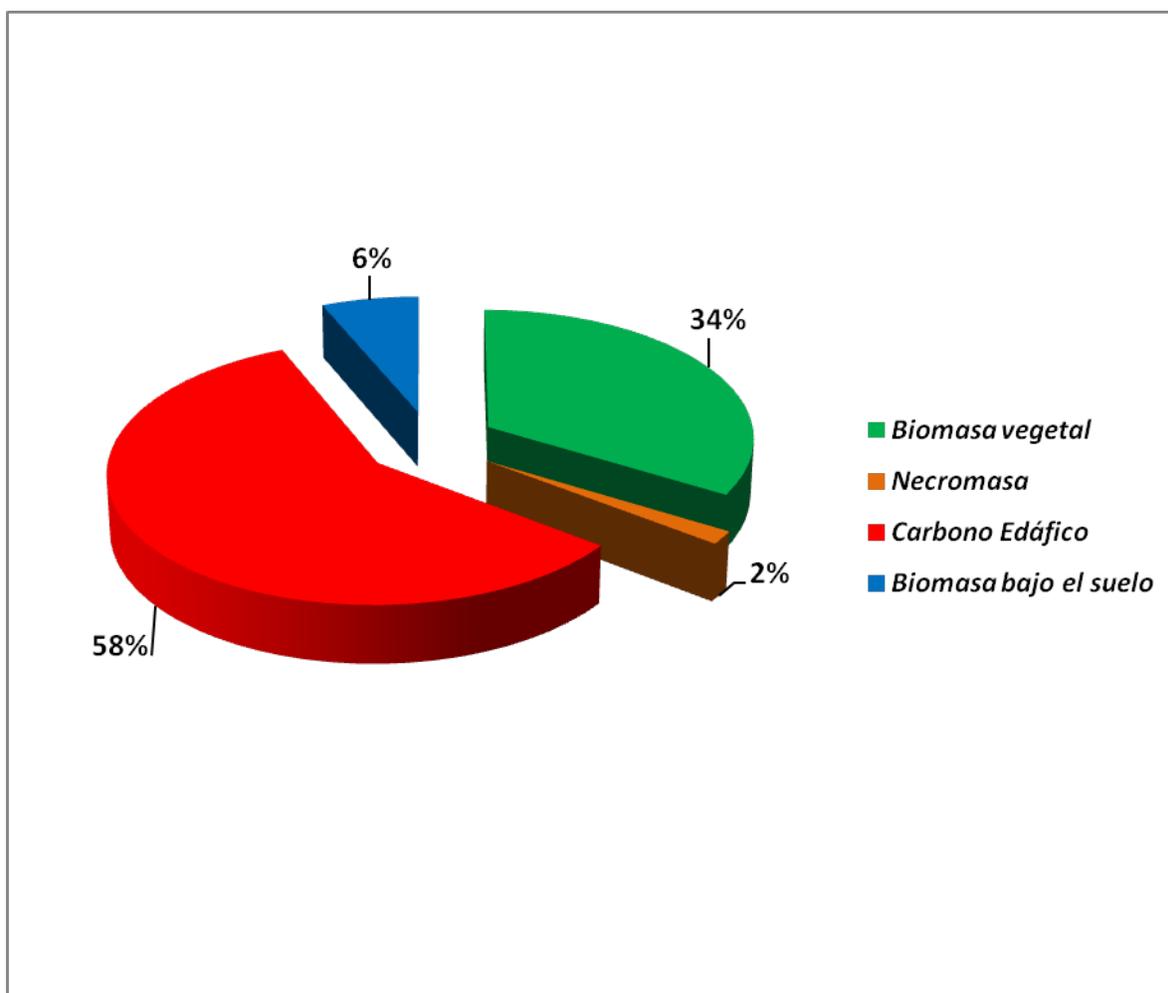
La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal. De esto se desprende que

los sistemas agroforestales y forestales se conviertan en una alternativa como sumideros de CO<sub>2</sub> atmosférico.

#### 4.6. Carbono almacenado en el SAF

Los resultados encontrados en el presente trabajo sugieren un importante panorama para la investigación y desarrollo de sistemas agroforestales y servicios ambientales en zonas costeras.

Es conocido que el Carbono en los sistemas forestales y agroforestales se acumula en cuatro componentes: biomasa arriba del suelo, hojarasca, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo; sin embargo, el almacén de carbono con mayor permanencia se da en la biomasa leñosa (Snowdon *et al.*, 2001).



**Figura 2.** Carbono almacenado en el SAF cocotero

En el presente estudio, el componente arbóreo (Biomasa vegetal) en los diferentes tratamientos estudiados aportó el 34% del Carbono fijado en el sistema agroforestal cocotero. Las especies vegetales, como un medio importante para captar y almacenar el carbono, ha sido reconocida ampliamente en la producción agrícola y forestal y fue aprobada como una estrategia importante de mitigación del cambio climático (Nair *et al.*, 2009).

Del análisis de retención de Carbono por la totalidad de plantas de todas las especies arbóreas presentes en el área de estudio, se encontró que el mayor secuestro de Carbono se presenta el Mango (*M indica*), la Palma Real (*R regia*) y el Coco (*C nucifera*), fueron las que mayor cantidad de Carbono por planta retenido presentaron; muy influenciado por la mayor longevidad de sus individuos, lo cual condicionó superior altura y perímetro de los mismos.

Según Alegre *et al.* (2000), la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar Carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro y altura de los componentes arbóreos.

Ernst y Thomas (1999), señalaron que las plantaciones bien manejadas de Palmas secuestran más Carbono por unidad de área que los bosques tropicales y predijeron, que las plantaciones de Palmas se convertirán en una parte importante del manejo del secuestro de Carbono en el siglo XXI.

El secuestro de carbono, por medio de los sistemas de uso de la tierra, incluido los sistemas agroforestales (SAF), gira en torno a la interacción de procesos ecológicos y biológicos, como la fotosíntesis, la respiración y la descomposición (Montagnini y Nair, 2004). Se ha registrado que los SAF pueden modificar el microclima, es decir, mitigar las condiciones climáticas extremas de temperatura, de precipitación, de vientos fuertes o de alta radiación solar; asimismo, son viables para la agricultura, por la combinación de especies leñosas maderables, cultivos agrícolas y ganado (Andrade *et al.* 2013b); por lo anterior, estos sistemas de producción se pueden adecuar a las exigencias del ambiente.

Los resultados encontrados en el almacenamiento de carbono a nivel del suelo, mostrados, indican que sí es importante mantener un número de árboles en asocio

con el coco, que detallan que las características biológicas de la especie arbórea utilizada influyen en el ciclo del carbono, por lo que los resultados encontrados son atribuidos principalmente al manejo de los SAF-cocotero.

También cabe destacar que el carbono almacenado a nivel del suelo resulta tener mucha incertidumbre cuando es contabilizado, debido a todos los procesos abióticos y bióticos que se llevan a cabo en el suelo (Moyes et al., 2010). Complementando esto se pueden mencionar los estudios de Mena, Hernan y Navarro (2013) quienes encontraron diferencias en el carbono captado por el suelo en diferentes SAF, sin embargo, esas diferencias fueron atribuidas a que probablemente los niveles de carbono antes de establecer las plantaciones eran diferentes.

Lapeyre, Alegre y Arévalo (2004) concuerdan con las diferencias encontradas en el carbono capturado por la necromasa, ya que estos señalan que el secuestro de carbono de necromasa, es influenciado por las especies presentes en el sistema. Calderón y Solís (2012) encontraron que entre mayor sea la acumulación de biomasa por parte de la necromasa, mayor será también el almacenamiento de carbono a este nivel, este dato concuerda con los resultados obtenidos en el estudio realizado donde se encontró  $4.64 \text{ t ha}^{-1}$  de carbono en la necromasa siendo las especies C nucifera y R regia las que mayor biomasa aportaron en el área

Calderón y Solís (2012) señalan que las actividades silvícolas como la poda están muy relacionadas con el nivel de hojarasca en el suelo, por lo que los resultados pueden atribuirse posiblemente a un programa de podas más intensivo por parte de los productores. Este elemento al quedar depositado en el suelo, entrará en un proceso de descomposición en el que la hojarasca o cualquier residuo de poda, pasará el carbono almacenado al suelo, la velocidad de este proceso dependerá de la especie, del tipo de suelo, la cantidad de agua y de otros nutrientes, etc (MAGFOR, 2005).

Mena, Hernan y Navarro (2013) denotan la importancia de medir el carbono captado por la necromasa debido al potencial que tiene de aumentar los créditos

de carbono que se podrían recibir si se tomara en cuenta, a pesar de ser un nivel que aporta muy poco al flujo completo de carbono de un SAF.

Los resultados encontrados en el almacenamiento de carbono por parte de los árboles reportados, se atribuyen nuevamente a que la captura de carbono en árboles está asociada al tipo de arreglo que se les dé, siendo mayor cuando estos forman tallos leñosos de grandes dimensiones (Ibrahim, Mora y Rosales, 2006), Romero, Escobar y Combellas (1996), reportan que la altura de los árboles tiene un impacto mayor en la capacidad de capturar carbono de los mismos, que la densidad de siembra. Gómez y Oviedo (2000) también reporta que árboles con mayores dimensiones tanto en altura como diámetro, almacenan más carbono que aquellos que son más pequeños.

El carbono captado por los árboles aumenta al aumentar el área basal existente en la plantación, lo que al final se puede traducir como densidad (árboles por hectárea) esto está validado en el área de estudio ya que las especies de mayor dominancia en el inventario forestal son las que apartaron mayor captación de carbono en el área.

La importancia de los sistemas agroforestales en la producción de alimentos, radica en el secuestro de carbono que se puede lograr con nuevas combinaciones y arreglos espaciales; con lo cual, el papel de la silvicultura y los arreglos forestales son relevantes en la mitigación de los gases de efecto invernadero, fenómeno que se manifiesta en el presente trabajo, en donde la combinación estudiada con cocotero adicionado especies de frutales, permitió elevar el secuestro de Carbono.

#### **4.7. Valoración económica**

El pago por servicios ambientales (PSA) considera que los usuarios de estos servicios paguen a los poseedores de los recursos forestales para que adopten prácticas de manejo, que eleven o, al menos, mantengan las áreas verdes, y compensar el costo de oportunidad que se tendría con alguna otra actividad que ponga en riesgo al ecosistema.

El análisis mostró un estimado de carbono almacenado por hectárea en los sistemas, valorado aproximadamente en 6 787 dólares (USD) por año. De este

monto, el 53.38% fue aportado por el sistema intercalado, con lo que supera al sistema de monocultivo.

Estos valores económicos, desde la perspectiva ambiental, junto con los ingresos correspondientes a la comercialización del producto final (coco seco), representan una valorización del SAF.

**Tabla 4.** Valoración económica del carbono almacenado en el SAF

SAF	Almacenamiento de Carbono	Carbono equivalente (CO <sub>2</sub> e)	Valor de CO <sub>2</sub> /t (USD)	Valor de mercado del CO <sub>2</sub> secuestrado
<b>Monocultivo</b>	86.2045	316.37052	10	3163.70515
<b>Intercalado</b>	98.731	362.34277	10	3623.4277
<b>Total</b>	184.9355	678.71329	10	6787.13285

**\* Este valor es fluctuante, pues depende de los mecanismos de mercado oferta y demanda. Se asume el más usado en la literatura del tema como precio de mercado internacional para proyectos MDL.**

Ello permite medir y comparar los diferentes beneficios que generan los ecosistemas; puede servir de instrumento para demostrar la importancia del manejo y la gestión de los recursos naturales; y además pone de manifiesto la eficiencia económica de su uso sostenible, al integrar, en su análisis, beneficios superiores a los que son percibidos en términos monetarios. Por otro lado, existe un gran potencial para manejar y recuperar áreas degradadas por el mal manejo empleado.

En ambos casos, el pago de servicios ambientales por fijación y almacenamiento de carbono representa una alternativa para dar valor agregado a la producción, lo que podría tener una gran importancia para los productores (Ávila et al., 2001).

Los resultados de este estudio permiten concluir que los sistemas agroforestales se muestran como una adecuada alternativa para el desarrollo sostenible en el sector agroforestal.

Es importante tomar en consideración el valor económico como elemento fundamental para lograr una utilización sostenible del ecosistema y, aunque la valoración económica no constituye el instrumento que se debe tener presente para todas las decisiones, representa uno de los aspectos que intervienen en el proceso decisorio, junto con otras importantes consideraciones políticas, sociales y culturales.

En este sentido, los SAF representan una estrategia para la generación de servicios ambientales; entre ellos, el secuestro de carbono. Los SAF contribuyen a la generación de servicios ambientales; sobre todo, aquellos que incluyen obras y tecnologías para la conservación de suelos y captación de agua.

Esto evita la erosión, favorece a una mayor captura de agua y, en el aspecto económico, se reduce hasta en un 50% el uso de fertilizantes (menor contaminación de suelos). La estructura arbórea incrementa la biodiversidad a través de las ramas, raíces y hojarasca; en estos hábitats se favorece la diversidad de microorganismos (Morán *et al.*, 2014).

Es importante destacar que la propuesta de introducir árboles en los sistemas de producción agropecuaria tiene como objetivo el incremento de las áreas con especies forestales y la reducción de la presión a los bosques naturales, por recursos forestales maderables y no maderables; por lo cual, se recomienda el establecimiento de los sistemas agroforestales en las áreas agropecuarias, sin la eliminación de la vegetación original. Es imprescindible valorar todos los bienes y servicios que nos proporcionan los SAF y es fundamental la gestión para que se apoyen proyectos en los que se ejecute un manejo eficiente del suelo con la producción de alimentos en forma sostenible y conservando los recursos naturales.

En este sentido, es importante resaltar que la productividad ecológica de los SAF está muy relacionada con la eficiencia de los arreglos ecológicos que se presentan, donde se hace un mejor aprovechamiento del espacio y de los recursos disponibles del sistema en la misma unidad de tierra, como: agua, nutrimentos, luz y tiempo, además, no se observan limitaciones competitivas por

estos recursos entre componentes de los sistemas, y los recursos de crecimiento son mejor aprovechados durante el año.

La explotación del cocotero como monocultivo representa pérdidas para el productor de copra. En cambio, la introducción de otros cultivos como frutales o ganado, como una forma de diversificar la producción y las actividades de los productores, les representa mayores utilidades

En los sistemas agroforestales desarrollados en plantaciones de cocotero, los indicadores económicos son más ventajosos, ya que se tiene una minimización de costos de producción, porque se hace un aprovechamiento más eficiente, tanto de las labores culturales e insumos que se aplican, como del espacio y recursos disponibles.

Lo anterior se traduce en una mayor productividad en los componentes, tanto de la palma de coco, como de los cultivos asociados y, en consecuencia, en una mayor rentabilidad del sistema. Para la diversificación biológica de las plantaciones de cocotero o mejoramiento de las prácticas agroforestales, se debe hacer una selección cuidadosa de especies de alto valor, tomando en consideración las condiciones biofísicas y socioeconómicas, y la disponibilidad de mercado de las regiones donde se desarrollan los sistemas de plantación. Para esto, es necesario que se investiguen las características y los usos de las especies nativas, ya que éstas podrían jugar un papel importante en la productividad y rentabilidad de los sistemas, para los cuales existe una gran variedad de cultivos potenciales que pueden incorporarse con un arreglo topológico adecuado.

Además de la rentabilidad lograda por la mayor producción agrícola, los sistemas agroforestales proveen importantes servicios ambientales, como conservación de humedad, mayor protección al suelo, conservación y enriquecimiento de la biodiversidad, y secuestro de carbono.

## V. Conclusiones

- En SAF cocotero se identificaron 13 especies, pertenecientes a 10 familias, resultaron *Coco nucifera* y *Roystonea regia* las especies de mayor Índice de Valor de Importancia Ecológica.
- Las propiedades fisicoquímicas que más relación guardaron con el carbono orgánico del suelo fueron la materia orgánica y la densidad aparente
- El SAF represento una estrategia para la generación de servicios ambientales para la mitigación del cambio climático; entre ellos, el secuestro de carbono, el incremento de la biodiversidad, mayor captura de agua y disminución de la erosión de los suelos.
- El análisis mostró un estimado de carbono almacenado por hectárea en los sistemas, valorado aproximadamente en 6 787 dólares (USD) por año

## **VI. Recomendaciones**

- Proponer un plan de manejo para diversificar la producción del SAF cocotero, con especies leñosas y frutales y analizar otros servicios ecosistémicos.
- Elaborar proyectos para el pago de servicios ambientales como alternativa para dar valor agregado a la producción, lo que podría tener una gran importancia para los productores.

## Referencias Bibliográficas

1. Afanador Ardila, A. 2008. Climate change adaptation in Latin American agriculture. Are agroforestry systems an alternative? Tesis MS. New Haven, CT, USA. Yale University, School of Forestry and Environmental Studies. 36 p.
2. Agostini, María, De, Los, Ángeles; Monterubbianesi, María, Gloria; Studdert, Guillermo, Alberto; Maurette, Santiago. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del suelo* 32(2): 171-176.
3. Aguirre, O., Corral, J. J., Vargas, B., y Jiménez, J. (2008). Evaluación de modelos de diversidad-abundancia del estrato arbóreo en un bosque de niebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31 (3), 281-289.
4. Alegre, J., Ricse, A., Arévalo, L., Barbarán J. y Palm, C. 2000. Reservas de Carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo. 12: 8-9.
5. Alvarado, J., Andrade, H. J., & Segura, M. (2013). Storage of soil organic carbon in coffee (*Coffea arabica* L.) production systems in the municipality of Líbano, Tolima, Colombia, 16(1), 11.
6. Alvarado, A., Forsythe, W. (2005) Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de costa rica. [www.mag.go.cr/rev agr/inicio.htm](http://www.mag.go.cr/rev_agr/inicio.htm).
7. Álvarez, P. 2006. *Silvicultura*, Editorial Félix Varela, La Habana, segunda reimpresión. 354 pp.
8. Amundson, R., Berhe, A. A., Hopmans, J. W., Olson, C., Sztein, A. E. & Sparks, D.L. 2015. Soil and human security in the 21st century. *Science*, 348(6235).

9. Andrade, 2013. «¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?» En: Agroforestería en las Américas 10.39-40, 109-116. Online:<https://bit.ly/2XBIWoi>.
10. Andrade, H.J.; Figueroa, J.; Silva, D. 2012. Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima-Colombia). *Scientia Agroalimentaria*. 1:6-10.
11. Andrade, H.J.; Segura, M.; Canal, D.S.; Gómez, M.; Marín, M.; Sierra, E.; Guependo, I.; Alvarado, J.; Feria, M. 2014. Estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola y forestal en el departamento del Tolima. Ibagué. Colombia. Sello editorial Universidad del Tolima. 99p.
12. Andrade, Hernán y Muhammad Ibrahim (2003). «¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?» En: Agroforestería en las Américas 10.39-40, 109-116. Online:<https://bit.ly/2XBIWoi>.
13. Anguiano, J. M., J. Aguirre y J. M. Palma (2013). «Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de Cocos nucifera, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum*. Cuba CT-115». En: 7.1,149-160. Online:<https://bit.ly/2SzC71K>.
14. Ávila, Gabriela; 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 en las Américas*. 8 (30):32
15. Balesdent, L., Mariotti, A. y Guillet, B. 1987. Natural  $^{13}\text{C}$  abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, p. 25-30.
16. Bascopé, S, Jorgensen, P. 2005. Caracterización de un bosque montano húmedo: Yungas, Bolivia. (En línea) Managua, NI. Consultado 11 de sep. 2008. Disponible en <http://editorenjefe.ecologiabolivia.googlepages.com/13Yungas40-3.pdf>

17. Beare, M. H., McNeill, S. J., Curtin, D., Parfitt, R. L., Jones, H. S., Dodd, M. B. & Sharp, J. 2014. Estimating the organic carbon stabilisation capacity and saturation deficit of soils: a New Zealand case study. *Biochemistry*, 120: 71-87.
18. Beer, J., Ibrahim M., Somarriba E., Barrance A. & Leakey R. 2004. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. Árboles de Centroamérica. OFICATIE. 46p.
19. Bell, M. J., Moody, P. W., Connolly, R.D. & Bridge, B. J. 1998. The role of active fractions of soil organic matter in physical and chemical fertility of Ferrosols. *Australian Journal of Soil Research*, 36: 809–819.
20. Bell, M. J., Moody, P. W., Yo, S. A. & Connolly, R. D. 1999. Using active fractions of soil organic matter as indicators of the sustainability of Ferrosol farming systems. *Australian Journal of Soil Research*, 37: 279–287
21. Bermeo, A. 2010. Inventario Forestal para el Plan de Manejo de la concesión 16-IQ/C-J-185-04, cuenca del Río Itaya, Loreto, Perú. Tesis, FCF –UNAP. 72 P.
22. Blair, G., Lefroy, R. & Lisle, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Soil Research*, 46: 1459–1466.
23. Brancher, T. 2010. Estoque e ciclagem de carbono de sistemas agroflorestais em Tome Azu, Amazonia Oriental. Tesis MS. Belem, Pará, Brasil, Universidad Nacional do Pará. 58p.
24. Brown, S. Los Bosques y El Cambio Climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. En: XI Congreso Forestal Mundial. Ankara, 1997, 107-121 p.
25. Bueno, B. S. (2016). Movimiento del Carbono y Nitrógeno y Captura del CO<sub>2</sub> en Cinco. Suelos con Vegetación Forestal, Agroforestería y Área Degradada en la Provincia de Rioja-San Martín. (Tesis de grado).

Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huacho, Perú. Recuperado de:  
<http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/161>.

26. Burbano, O. H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35 (1), 82-96.
27. Cairns, Michael A. y col. (1997). «Root biomass allocation in the world's upland forests». En: *Oecologia* 111.1, 1-11. Online: <https://bit.ly/2EAKpm6>
28. Cairo, P. 2006. Edafología práctica. Memoria magnética. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu de Las Villas". 200p
29. Cairo, P. y Fundora, O. 2005. Edafología, primera parte. Editorial Félix Varela. La Habana. 476p.
30. Cárdenas, L., 1986. Estudio ecológico y diagnóstico silvicultural de un bosque de terraza media de la llanura aluvial del río Nanay Amazonia Peruana, CATIE. Costa Rica. Sp
31. Carrillo-Ruiz, H.; H. A. Álvarez, M. S. Carrillo-Torres Y S. P. Rivas-Arancivia. 2015. *Dugesiana*. Departamento de Botánica y Zoología. 22(2): 153-147.
32. Casanova, LF; Caamal, MJ; Petit, AJ; Solorio, SF; Castillo, CJ. 2010. Almacenamiento de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo en Xmatkuil, Yucatán.
33. Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., Musálem-Santiago, M., y López-Aguillón, R. (2008). Estructura de bosques
34. Castro, R. J. (2017). Almacenamiento de carbono y análisis de rentabilidad en sistemas agroforestales con *Coffea arabica* (L) en la zona de los santos , Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
35. Centro Salvadoreño de Tecnología Apropiada. (2011). Agroforestería y Cambio Climático. Recuperado de <http://www.cesta-foe.org.sv/areas-de-trabajo/Pubs/cuadernillo%20CESTA%20agroforestales.pdf>.

36. Chait, C. 2017. *Café en Colombia: Servicios ecosistémicos, conservación de la biodiversidad*. Este volumen.
37. Cifuentes Jara, M. 2010. *ABC del cambio climático en Mesoamérica*. Serie Técnica. Informe Técnico del CATIE No. 383. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 71 p.
38. Concha J. Y., Alegre J. C. & Pocomucha V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. En el Departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*. 6(1,2): 75-82.
39. Córdoba, S.; Hernández, L. 2009. Efecto de la sombra sobre el crecimiento herbáceo. México. 28 pp.
40. Cortázar R., M. 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región Sur-Sureste de México; Trópico húmedo. Centro de Investigación Regional Sureste Campo Experimental Chetumal, Quintana Roo. 8 p.
41. Cowart, M. 2011. Shade and management effects on soil carbon fractions in organic and conventional coffee agroforestry systems in Costa Rica. Tesis MS. New Haven, CT, USA, Yale University, School of Forestry and Environmental Studies. 18 p.
42. Dauber, E.; Terán, J. Y Guzmán, R. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. IUFRO-RIFALC: Taller Internacional sobre Secuestro de Carbono; 16-20 de julio. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela, 2001, 17 p.
43. De Taffin, G. 1998. Coconut. *The Tropical Agriculturalist*. Thechnical Center for Agricultural and Rural Cooperation (TCA) and Macmillan Education. London, United Kindown. 101 p.
44. Del Río, M., Montes, F., Cañellas, I. y Montero, G. (2003). Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigaciones Agrarias: Sistemas de Recursos Forestales*, 12 (1), 159-176. doi:10.5424/795

45. Del Risco, P. P. 2006. Evaluación del potencial forestal del área de influencia comprendida entre las quebradas Sucusari y Yanayacu del Distrito de Mazan, Loreto, Perú. Tesis Ing. Forest. – UNAP. 203 p.
46. Dixon, Robert K. (1995). «Sistemas agroforestales y gases invernadero». En: 2.7, 22-26. Online: <https://bit.ly/2GPFY99>.
47. Domínguez C., E., J. López A., R. Castillo G. Y P. Ruíz B. 1999. El Cocotero *Cocus nucifera* L. Manual para la Producción en México. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Libro Técnico Núm. 6. Tabasco, México. 132 p.
48. Ernst, W.M. y Thomas H. 1999. Oil Palm – The Great Crop of South East Asia: Potential, Nutrition and Management. Conference for Asia and the Pacific, Kuala Lumpur, Malaysia, 14-17 November.
49. Eyherabide, M.; Saínz, H.; Barbieri, P.; Echevarría, H. E. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo* 32(1): 13-19.
50. FAO (Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010. «Climate-Smart» Agriculture. Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation (en línea). Disponible En: <http://www.fao.org/docrep/013/i1881e/i1881e00.pdf>
51. FAO. (2017). Carbono orgánico : del suelo el potencial oculto. In L. Lefèvre, Clara; Rekik, Fatma; Alcantara, Viridinia; Wiese (Ed.) (p. 90). Roma, Italia: Sala, Matteo; Verbeke, Isabelle; Stanco, Giulia. Retrieved from [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)
52. FAO. 2012. Moving forward with Climate-smart agriculture (en línea). Disponible En: [www.fao.org/climatechange/climate-smart](http://www.fao.org/climatechange/climate-smart).
53. FAO. 2014. Informe de prensa 1-15 Junio. Planean evitar deforestación con apoyo del sector privado. *Infosylva* No. 11. Disponible En: <http://www.fao.org/forestry/41100-025e2009301af56a-90328d3a9aee31727.pdf>

- 54.FAO. 2015. Learning tool on Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) in the agriculture, forestry and other land use (AFOLU) sector. Roma: FAO.
- 55.Farfán, V. F. (2014). Agroforestería y Sistemas Agroforestales con café. Recuperado de [https:// www.cenicafe.org/ es/ publications / Agroforester%C3%ADa\\_y\\_sistemas\\_agroforestales\\_con\\_caf%C3%A9.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf)
- 56.Feliciano, D.; Ledo, A.; Hillier, J.; Nayak, D.R. 2018. Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? Agriculture, Ecosystems & Environment 254: 117–129.
- 57.Fernández, L. M. Y. (2017). Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenado en bosques naturales. (Tesis de maestría). Universidad Militar, Nueva Granada. Recuperado de [https:// repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16394/Fen%E1ndezLos\\_a\\_daMagdaYolima2017.pdf;jsessionid=CB0309C9E23A895DD93FE90434202262?sequence=3](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16394/Fen%E1ndezLos_a_daMagdaYolima2017.pdf;jsessionid=CB0309C9E23A895DD93FE90434202262?sequence=3)
- 58.Fondo para el Medio Ambiente Mundial. (2012). Actividades Sobre Uso de la Tierra, Cambio del Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS). Recuperado de [https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/LULUCF\\_-\\_Spanish\\_0.pdf](https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/LULUCF_-_Spanish_0.pdf)
- 59.Francesco N.(2015) Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo.
- 60.Freitas R., M. Y A. Pinto De Abreu, F. 2000. Agua de Coco. Métodos de Conservación. EMBRAPA -CNPAT / SEBRAE-CE. Documentos 37. Fortaleza, Brasil. 40 p.
- 61.Fremond,1981. El Cocotero. Segunda Edición. Ed. Blume. Barcelona, España. 236 p.

62. Gavilán, R. G., y Rubio, A. (2005). ¿Pueden los índices de diversidad biológica ser aplicados como parámetros técnicos de la gestión forestal?. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 20, 93-98.
63. Gutiérrez, R. C. L. (2017). Estimación de la Captura de CO<sub>2</sub> en el Juncal del Área de Conservación Regional la Albufera de Medio Mundo (ACRAMM) – Huaura, Lima -Perú. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huacho, Perú. Recuperado de [http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/303Gutierrez\\_Claudia\\_tesis\\_bachiller\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed](http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/303Gutierrez_Claudia_tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed).
64. Henríquez, H.C. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con enfoque agrícola. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. Costa Rica. 122 p.
65. Hernández, J., Aguirre, O., Alanís, E., Jiménez, J., González, M. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 19 (3), 189-199.
66. Hiederer, R. & Köchy, M. 2011. Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World
67. Ibrahim, M., Chacón, M., Mora, J., Zamora, S., Gobbi, J., Llanderal, T., Harvey, A., Murgueitio, E., Casasola, F., Villanueva, C., Ramírez, E. 2005. Opportunities for carbon sequestration and conservation of water resources on landscapes dominated by cattle production in Central America. In Henry A. Wallace/CATIE Inter-American Scientific Conference Series, "Integrated management of environment services in human-dominated tropical landscape" (4, Costa Rica, 2005).
68. Ingaramo, O.E., Paz, A. y Dugo, M. 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreo de suelo, en el NO de la Península Ibérica. En página Web: <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2003/comunicaciones/05-Agrarias/A-032.pdf>. Consultado: 14-06-09.

69. Ingram, J., & Anderson, J. (2017). Tropical Soil Biology and Fertility : A Handbook of Methods. EEUU.
70. INTA. (2012). Comparación de métodos de determinación en ensayo de rotación en siembra directa (p. 3).
71. Jardel, E. J. (2011). El manejo forestal en México: conceptos básicos, antecedentes, estado actual y perspectivas. Recuperado de [http://era-mx.org/Estudios\\_y\\_proyectos/Estudios/Libro\\_2011/2\\_Jardel\\_Manejo\\_3.doc](http://era-mx.org/Estudios_y_proyectos/Estudios/Libro_2011/2_Jardel_Manejo_3.doc).
72. Jezeer, R. E. y Verweij, P. A. (2015). Café en Sistema Agroforestal – doble dividendo para la biodiversidad y los pequeños agricultores en Perú. Hivos, The Hague.
73. Kaiser, K. & Kalbitz, K. 2012. Cycling downwards – dissolved organic matter in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 52: 29-32.
74. Kanninen, M. 1998. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. En <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4435S/y4435s09.htm>. Web: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4435S/y4435s09.htm>.
75. Keestra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R.D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B. & Fresco, L. O. 2016. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2: 111-128.
76. Koskela, J; Nygren, P; Berninger, F; Luukkanen, O. 2000. Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls. Tropical Forestry Report 22. Helsinki, Finland, University of Helsinki, Department of Forest Ecology. 103 p.
77. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
78. Lal, R. 2005. Soil carbon sequestration in natural and managed tropical forest ecosystems. Pp. 1-30

79. Lamprech, H, 1990. Silvicultura de los trópicos. Antonio Carrillo Dr. Escchborn;Alemania GTZ. 335p.
80. Lapeyre, T., Alegre, J. y Arévalo, L. (2004). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 3 (1,2), 35 - 44. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726).
81. Leon, A. Y. (2016). Reserva de carbono en bofedales y su relacion con la floristica y condicion del paztizal. Universidad Nacional Agraria La Molina.
82. Loguercio, G. A. Fijación de carbono: Un beneficio adicional para proyectos forestales en Patagonia. *Patagonia Forestal* 8 N° 2, 2002, 45p.
83. Lorenz, K. & Lal, R. 2016. Soil Organic Carbon - An appropriate Indicator to Monitor Trends of Land and Soil Degradation within the SDG Framework? Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
84. LOUMAN, B y STANLEY, 2002, Análisis e interpretación de resultados de inventarios forestales: En: L. Orosco y C. Brumer (editores). Inventario forestal para bosques latifoliados en América Central. Serie Técnica, Manual Técnico N° 50, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 263 págs.
85. Magdoff, F. 1997. Calidad y manejo del suelo. Bases para una Agricultura Sustentable. Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y desarrollo. Grupo Gestor Cubana de Agricultura Orgánica. La Habana. Cuba 211pp.
86. MALLEUX, J. 1987. Forestería. En: Gran Geografía del Perú y el Mundo, hombre y naturaleza. Vol. 6. 327 p.
87. Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (n.d.). Carbono Orgánico y propiedades del suelo,
88. Matteucci, S.D; Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaria general de la organización de los Estados Americanos. Programa de desarrollo científico y tecnológico. Washintong, D.C. 169p

89. McVay, K.A. & Rice, C.W. 2002. Soil organic carbon and the global carbon cycle. Kansas State University. En línea: <http://www.oznet.ksu.edu>.
90. Mejía, S., Gómez, A., Etchevers, J., Ángeles, G., López, M, 2016. Acumulación de Carbono orgánico en el suelo en reforestaciones de pinus michoacana.
91. Mendelsohn, R; Dinar, A. 1999. Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter? The World Bank Research Observer 14:277-293.
92. Mercadet, Alicia & Álvarez, J. 2005. Informe final de proyecto “Cambio climático y el sector forestal cubano: segunda aproximación”. Instituto Forestal Nacional. La Habana, Cuba. 50 p. (Mimeo)
93. Mercadet, P. A. y Álvarez, B. A. Metodología para el establecimiento de la línea de base de retención de carbono por las Empresas Forestales de Cuba. Informe final de proyecto «Cambio climático y el sector forestal cubano: segunda aproximación» 11/05/03. Programa Ramal de Medio Ambiente. MINAGRI. Instituto Forestal Nacional. La Habana, 2005, pp. 27.
94. Mercadet, P. A. y Álvarez, B. A. Metodología para establecer la línea base de retención de carbono en las Empresas Forestales Integrales de Cuba. EN: Efecto de los cambios globales sobre el ciclo del carbono. Publicado por: RED CYTED 406RT0285 “Efecto cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica”, 2009, pp. 107-118. ISBN: 978-987-96413-7-8.
95. Mercadet, P. A.; Álvarez, B. A.; Escarré, A. Y Ortíz, O. Coeficientes de carbono y nitrógeno en la madera y corteza de especies forestales arbóreas cubanas (2011). [en línea]. Disponible en: [http://bva.fao.cu/pub\\_doc/Reposit/cuf0337s.pdf](http://bva.fao.cu/pub_doc/Reposit/cuf0337s.pdf) [Consulta: 30 de abril 2012].
96. Messa Arboleda, HF. 2009. Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy, Venezuela. Tesis MS. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

97. Ministerio del Ambiente. (2012). Glosario de Términos para la Formulación de Proyectos Ambientales. Recuperado de: <http://cdam.minam.gob.pe/novedades/glosarioterminosambientales.pdf>
98. Miranda, T, R. Machado. 2007. Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso
99. Montagnini, F. (Ed.). 1992. Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos. 2da Ed. San José, Costa Rica, Organización para Estudios Tropicales (OET). 622 p.
100. Montagnini, F. 2012. Los sistemas agroforestales y su contribución para la mitigación y adaptación al cambio climático. Maracay, Venezuela, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Revista Alcance 71:1-24.
101. Montagnini, F.; Nair, P. 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforest.* 61:281-295.
102. Montagnini, F; Eibl, B; Barth, SR. 2011. Organic yerba mate: an environmentally, socially and financially suitable agroforestry system. *Bois et Forêts des Tropiques* 308:59-74.
103. Montagnini, F; Finney, C. 2011. Payments for Environmental Services in Latin America as a tool for restoration and rural development. *Ambio* 40:285-297.
104. Montagnini, F; Ibrahim, M; Murgueitio Restrepo, E. 2013. Silvopastoral systems and mitigation of climate change in Latin America. *Bois et Forêts des Tropiques* 316(2):3-16.
105. Montagnini, F; Metzel, R. Biodiversidad, manejo de nutrientes y seguridad alimentaria en huertos caseros mesoamericanos. Este volumen.
106. Montagnini, F; Nair, PK. 2004. Carbon Sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.
107. Montero, M; Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies forestales nativas en plantaciones

en la región Atlántica de Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica) 45:118-125.

108. Morán, M.B.; Herrera, A. y López, B. K. (2014). Evaluación socioeconómica y ambiental en tres sistemas agroforestales en el trópico seco nicaragüense. *Rev. Científica de FAREM- Esteli. Medio Ambiente. Tecnología y Desarrollo Humano* 11 (3): 13-26.
109. Motz, K., Sterba, H. y Pommerening, A. (2010). Sampling measures of tree diversity. *Forest Ecology and Management*, 260 (11), 1985-1996.
110. Murthy I., Gupta M., Tomar S., Munsu M., Tiwari R., Hegde G. T. & Ravindranath N. H. 2013. Carbon sequestration potential of agroforestry systems in India. Centre for Sustainable Technologies, Indian Institute of Science, Bangalore, India. *Earth Science & Climatic Change*. 4:1.
111. Mutuo, PK.; Cadisch, G; Albrecht, A; Palm, CA; Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71: 43–54.
112. Nadège, M.T.; Louis, Z.; Cédric, C.D.; Louis-Paul, K.B.; Funwi, F P.; Ingrid, T.T.; Julliete Mancho, N. 2018. Carbon storage potential of cacao agroforestry systems of different age and management intensity. *Climate and Development*: 1–12.
113. Nair, P. K. R. (1993). *An Introduction to Agroforestry*. U.S.A. and Canada. Publicado por Kluwer Academic Publishers. Recuperado de [https://www.worldagroforestry.org/Units/Library/Books/PDFs/32\\_An\\_introduction\\_to\\_agroforestry.pdf?n=161](https://www.worldagroforestry.org/Units/Library/Books/PDFs/32_An_introduction_to_agroforestry.pdf?n=161)
114. Nair, P.; Nair, V.D.; Kumar, B.M.; Haile, S.G. 2009. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environ. Sci. Policy*.10:10-16
115. Nair, PK; Nair, VD; Kumar, BM; Showalter, JM. 2010. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Advances in Agronomy* 108:237-307.

116. Nair, PKR. 2012. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforestry Systems* 86:243-253.
117. Nair, PKR; Kumar, BM; Nair, BD. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:10-23.
118. O'Rourke, S. M., Angers, D. A., Holden, N. M. & Mcbratney, A. B. 2015. Soil organic carbon across scales. *Global Change Biology*, 21: 3561–3574.
119. Oliveira, K.R. 1996. Valoración económica de bienes y servicios ambientales en sistemas agrícolas en San Miguel, Petén, Guatemala. Tesis en opción al título de Maestro en Ciencias. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 137 p.
120. Ong, CK; Leakey, RRB. 1999. Why tree crop interactions in agroforestry appear at odds with tree-grass interactions in tropical savannahs. *Agroforestry Systems* 45:109-129.
121. Ong, CK; Wilson, J; Deans, JD; Mulatya, J; Raussen, T; Wajja-Musukwe, N. 2002. Tree-crop interactions: manipulation of water use and root function. *Agricultural Water Management* 53:171-186.
122. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Comisión Forestal. (2008). Los bosques y el Cambio Climático: Una verdad Oportuna.
123. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). La Gestión de los Bosques ante el Cambio Climático. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/014/i1960s/i1960s00.pdf>.
124. Orozco, L.; C, Brumer. 2002. Medición y cálculo de bosque. Inventario forestal para bosques latifoliados en América central. Serie técnica, (CATIE) Nº50. Turrialba (Costa Rica), 35 – 68 p.
125. Osorio B. Y. 2013. Estructura y diversidad de la flora leñosa en un bosque pluvisilva submontano, sector Cupeyal del Norte, Parque Nacional Alejandro de Humboldt (PNAH). Maestría en Ciencias Forestales. 63 P.

126. Ovalle, O. (2016). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café en Costa Rica (p. 24).
127. Ozdemir, I., Ozkan, K., Mert, A., Ozkan, U. Y., Senturk, O. y Alkan, O. (2012). Mapping forest stand structural diversity using Rapideye satellite data. Recuperado de [http://congrexprojects.com/docs/12c04\\_docs2/poster2\\_6\\_ozdemir.pdf](http://congrexprojects.com/docs/12c04_docs2/poster2_6_ozdemir.pdf) (Acceso el 11 de febrero de 2014).
128. PADILLA, J. 1992. Curso de Extensión en Inventarios Forestales, dirigidos a las comunidades de Puerto Almendras. Loreto. Perú. 45. P.
129. Palomeque, F. E. (2009). Sistemas Agroforestales. Universidad Autónoma de Chiapas. Chiapas, México. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/328368150\\_Sistemas\\_Agroforestales](https://www.researchgate.net/publication/328368150_Sistemas_Agroforestales)
130. Paul, C. y Weber, M. (2013). Intercropping *Cedrela odorata* with Shrubby Crop Species to Reduce Infestation with *Hypsipyla grandella* and Improve the Quality of Timber. Disponible en: <http://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/637410/>
131. Pineda, M.R. (2011). El cambio climático como escenario en la gestión de los recursos forestales: cambio en el uso del suelo, almacenes de carbono y acciones de mitigación en una comunidad del Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz, México. 218 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor) Universidad de Santiago de Compostela, México.
132. Pocomucha Julio Alegre y Luís Abregú. 2016. Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco
133. Rahman, S. A.; Sunderland, T.; Kshatriya, M.; Roshetko, J. M.; Pagella, T.; Healey, J. R. 2016. Towards productive landscapes: Trade-offs in tree-cover and income across a matrix of smallholder agricultural land-use systems. *Land Use Policy* 58: 152–164.

134. Ramos S., J., A. Romero C., J. Figueroa V. Y D. Munro O. 2005. Paquete tecnológico del cocotero en el estado de Colima. Comité Estatal de Sanidad Vegetal (Cesavecol), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Campo experimental Tecomán, Universidad de Colima (Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (FCB y A), Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB-SENASICA) y SAGARPA, Programa de Sanidad Vegetal. 50 p.
135. Rapidel, B; Allinne, C; Cerdán, C; Meylan, L; Virginio Filho, E; Avelino, E. 2010. Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales.
136. Rasse, D., Rumpel, C. & Dignac, M. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, 269(1): 341-356.
137. Rodriguez, C. (2014). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos de un sistema agroforestal (café y Guaba), en diferentes altitudes del sector Bolson Cuchara - Tingo Maria. Universidad Nacional Agraria de la selva.
138. Rogelio F., F. 2006. Alternativas Tecnológicas del Cocotero de Asia-Pacífico, ventaja competitiva para el Cocotero de México. Universidad de Colima. Facultad de Economía centro universitario de estudios e investigaciones sobre la cuenca del pacífico. pp 112-173.
139. Rojas, M. V. (2013). Los Servicios Ambientales. *Revista de Derecho de la Universidad de Montevideo*, 23, 37-44. Recuperado de <http://revistaderecho.um.edu.uy/wpcontent/uploads/2013/10/Rojas-Montes-Los-ervicios-ambientales.pdf>
140. Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. Y R.A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas

- y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
141. Ruiz, P. M.,(2007). Los servicios ambientales de los bosques.Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente,16 (3), 81-90. Recuperado de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=509>
  142. Rumpel, C., Chabbi, A. & Marschner, B. 2012. Carbon Storage and Sequestration in Subsoil Horizons: Knowledge, Gaps and Potentials. En: R. Lal et al. eds. Recarbonization of the Biosphere. Dordrecht, The Netherlands: Springer, pp. 445-464.
  143. Sánchez R., J.R., R. Ochoa B., F. Rodríguez C., J. Roque Z., C. Ortega R., H. Palacios F. 2001. De nuestra cosecha. Dr. Omar Musalem López. Primera edición. Revista Claridades Agropecuarias, México, D.F.
  144. Schlegel, Bastienne (2001). «Estimación de la Biomasa y Carbono en Bosques del Tipo Forestal Siempreverde ». En: Valdivia, Online:<https://bit.ly/2Xse0FS>.
  145. Schroth, G; Laderach, P; Dempewolf, J; Philpott, S; Haggan, J; Eakin, H; Castillejos, T; Garcia Moreno, J; Soto Pinto, L; Hernandez, R; Eitzinger, A; Ramirez-Villegas, J. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 14:605-625.
  146. Segura, M. Estimación de Carbono en Ecosistemas Tropicales: Los aportes de modelos de biomasa. En: Curso Internacional "Proyecto de Cambio Climático en los Sectores Forestal y Energético: Oportunidades de Desarrollo para Países Latinoamericanos". CATIE-PNUD, C. Rica, 2001, 24-28 septiembre.
  147. Shibu, Jose (2009). «Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview». En: Agroforestry systems 76.1, 1-10. Online:<https://bit.ly/2GP7dB2>.

148. Silva-Guzmán, J. A.; Ramírez-Arango, A. M.; Fuentes, T. F. J.; Rodríguez-Anda, R.; Turrado, S. J. y Georg-Richter, H. (2015). Diagnóstico de la industria de la transformación primaria de las maderas tropicales de México. *Rev. Mexicana de Ciencias Forestales* 6(28): 202-221..
149. Snowdon, P.; Raison, J.; Keith, H.; Montagu, K.; Bi, K.; Ritson, P.; Grierson, P.; Adams, M.; Burrows, W. y Eamus, D. (2001). Protocol for sampling tree and stand biomass. National Carbon Accounting System, Technical Report No. 31. 114 pp.
150. Solís, M. R., Aguirre, O., Treviño, E. J., Jiménez, J., Jurado, E. y Corral, R. (2006). Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 12 (2), 49-64.
151. Somarriba E. & Harvey C. 2003. Como integrar simultáneamente producción sostenible y conservación de la biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10 (37-38).
152. Soto, F.; Vantour, A.; Hernández, A.; Planas, A.; Figueroa, A.; Fuentes, P.O; Tejeda, T.; Morales, M.; Vázquez, R.; Zamora, E.; Alfonso, H. M.; Vázquez, L. Y Caro, P. La zonificación agroecológica del *Coffea arabica*, L. en Cuba. Macizo montañoso Sagua – Nipe – Baracoa. *Cultivos Tropicales*. 2001a. vol. 22, no. 3, p. 27-51.
153. Steinfeld, H; Gerber P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; de Haasn C. 2006. Livestock's long shadow. Environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome
154. Timoteo, K., Remuzgo, J., Sales, D. F., García, S. D. y Abanto, R. C. (2016). Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia Amazónica*, 25 (1), 45-54. Recuperado de <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/fo liaamazonica/article/view/382>

155. Trouve, C., Mariotti, A. Schwartz, D. y Guillet, B. 1994. Soil organic carbon dynamics under Eucalyptus and Pinus planted on savannas in the Congo. *Soil Biol. Biochem.* 26(2): 287-295.
156. Trumbore, S. 2009. Radiocarbon and soil carbon dynamics. *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 37: 47-66.
157. Turvey, C. G. 2001. Weather derivatives for specific event risks in agriculture. *Review of Agricultural Economics*, 23(2): 333-351.
158. Utria, M. Y. Inventario y composición florística de especies forestales en plantaciones de cacao en el municipio Baracoa. Tesis en opción al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Guantánamo, 2009, pp. 60.
159. Van der Wal, A. & De Boer, W. 2017. Dinner in the dark: Illuminating drivers of soil organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 105: 45-48.
160. Vargas, Miranda (2018) Evaluación de la fertilidad del suelo en parcelas con dos diferentes manejos de hacer agricultura (sistema agroforestal sucesional y sistema convencional) en zona semiárida en la provincia Tapacará – Cochabamba
161. Vega, G.; Ordoñez, C.M.; Suarez, J.C.; López, C.F. 2014. Almacenamiento de carbono en arreglos agro-forestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 5(1): 213-221.
162. Verchot, LV; Van Noordwijk, M; Kandji, S; Tomich, T; Ong, C; Albrecht, A; Mackensen, J; Bantilan, C; Anupama, KV; Palm, C. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Global Change* 12:901-918.
163. Waheed, R.; Chang, D.; Sarwar, S.; Chen, W. 2018. Forest, agriculture, renewable energy, and CO<sub>2</sub> emission. *Journal of Cleaner Production* 172: 4231–4238.

164. Walkley, A.; Black, I. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
165. ZIZUMBO, D. 2003. Avances del programa cocotero 1999-2003. Yucatán, México.

## ANEXOS

### ANEXO No. 1

#### Categorías de evaluación de los niveles de Materia Orgánica, Porosidad total y Densidad aparente

Anexo 1. Categorías de evaluación de los niveles de Materia Orgánica (MO).

<b>MO (%)</b>	<b>Categoría</b>
< 2	Bajo
2 a 4	Medio
4.1 a 6	Alto
> 6	Muy Alto

Anexo 2. Categorías de evaluación de los niveles de Porosidad total (Pt).

<b>Pt (% de vol.)</b>	<b>Categoría</b>
< 40	Muy Baja
40-45	Baja
46-55	Alta
56-65	Media
> 65	Muy Alta

Anexo 3. Categorías de evaluación de los niveles de Densidad Aparente (DA).

<b>DA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Categoría</b>
< 1	Muy Baja
1-1.20	Baja
1.21-1.45	Media
1.46-1.60	Alta
>1.60	Muy Alta

**ANEXO No. 2**  
**Densidad de la madera de especies forestales arbóreas**  
**(Álvarez et al)**

<b>No.</b>	<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>Densidad Seca al aire</b>
1.	Bosques tropicales Asia	-----	570
2	Bosques tropicales América	-----	600
3	Bosques tropicales Africa	-----	580
4			
5	Abey	Lysiloma bahamensis Benth.	625
6	Abey blanco	Albizia berteriana (Balbis) Maza	825
7	Abey macho	Jacaranda coerulea (L.) Gris.	720
8	Acacia blanca	Robinia pseudoacacia	760
9	Acacia cyclops	Acacia cyclops A. Cunn.&G. Don.	470
10	Acacia melanoxylon	Acacia melanoxylon	540
11	Acacia negra	Acacia melanoxylon R. Br.	700
12	Acacia negra	Gleditsia triacanthos	670
13	Acacia rosada	Cassia nodosa Buch. Ham.	580
14	Acacia verde	Acacia decurrens Willd.	930
15	Acacu	Hura crepitans	400
16	Acana	Manilkara albescens (Gris.) Cronq.	1050
17	Albizia	Albizia falcataria (L.) Fosberg	265
18	Algarrobo	Ceratonia siliqua L.	820
19	Algarrobo blanco	Prosopis alba Griseb.	760
20	Algarrobo blanco, Arbol blanco, Ibopé pará	Prosopis alba	730
21	Algarrobo chileno	Prosopis chilensis	725
22	Algarrobo colorado	Prosopis juliflora	770
23	Algarrobo de la India	Albizia procera Benth.	600
24	Algarrobo de las Antillas	Hymenaea courbaril L.	920
25	Algarrobo de olor	Albizia lebeck (L.) Benth.	700
26	Algarrobo del país	Albizia saman (Jacq.) F. Muell.	570
27	Algarrobo negro	Prosopis nigra (Griseb.) Hieron.	850
28	Almácigo	Bursera simaruba (L.) Sargent.	350
29	Almendrillo	Reynosa revoluta (Gris.) Urb.	1022
30	Almendro	Dipholis salicifolia (L.) A.D.C.	1078
31	Almendro	Prunus dulcis (Miller) D.A. Webb	1010

32	Almendro blanco	<i>Terminalia arjuna</i> Bedd.	800
33	Almendro de la India	<i>Terminalia catappa</i> L.	545
34	Ambay y guazú, Cacheta	<i>Didymopanax morototoni</i>	450
35	Amboyna	<i>Pterocarpus indicus</i> Willd.	670
36	Anacahuita	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) Karst.	450
37	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>	720
38	Apamate	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) D.C.	590
39	Arabo	<i>Erythroxylon confusum</i> Britt.	1275
40	Araucaria	<i>Araucaria excelsa</i> Lamb.	940
41	Arbol del Nim	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	770
42	Areno	<i>Andira inermis</i> H.B.K.	700
43	Aroma francesa	<i>Albizia lebeck</i> (L.) Benth.	600
44	Ateje	<i>Cordia collococca</i> L.	530
45	Ayúa	<i>Zanthoxylum martinicense</i> (Lam.) D.C.	630
46	Azulejo	<i>Talauma minor</i> Urb.	790
47	Bacona	<i>Albizia cubana</i> Britt. et Wilson	950
48	Bagá	<i>Annona glabra</i> L.	481
49	Baguilumbang	<i>Aleurites trisperma</i> Blanco	513
50	Bajii	<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	540
51	Bala de cañón	<i>Couropita guianensis</i> Aubl.	420
52	Balata	<i>Manilkara</i> spp.	
53	Balsa	<i>Ochroma lagopus</i> Sw.	210
54	Bálsamo	<i>Myrospermum frutescens</i> Jacq.	950
55	Bambú	<i>Bambusa spinosa</i>	370
56	Bambú	<i>Guadua angustifolia</i>	490
57	Baría	<i>Cordia gerascanthus</i> Jacq. non L.	650
58	Barril	<i>Cyrilla racemiflora</i> L.	800
59	Bayúa	<i>Zanthoxylum elephanthiasis</i> Macfd.	640
60	Bijáguara	<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	750
61	Bijáguara	<i>Colubrina ferruginosa</i> Brong.	1000
62	Boniatillo	<i>Phoebe cubensis</i> Nees	575
63	Boniato	<i>Ocotea wrightii</i> (Meisn.) Mez.	575
64	Boniato blanco	<i>Phoebe montana</i> (Sw.) Griseb.	575
65	Boniato laurel	<i>Ocotea floribunda</i> (Sw.) Mez.	575
66	Boniato prieto	<i>Nectandra antillana</i> Meisn.	575
67	Brasil	<i>Caesalpinia vesicaria</i> L.	1250
68	Brasilete	<i>Haematoxylon brasiletto</i> Karst.	1100
69	Brown salwood	<i>Acacia aulacocarpa</i> A. Cunn. ex Benth.	690
70	Búcare	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O.F. Cook.	316
71	Búfano	<i>Fraxinus caroliniana</i> Willd.	430

72	Búfano	Fraxinus cubensis Griseb.	500
73	Cabo de hacha	Trichilia hirta L.	735
74	Cacao	Theobroma cacao L.	450
75	Cafeto de Kentucky	Gymnocladus dioicus (L.) Koch	700
76	Caimitillo	Chrysophyllum oliviforme L.	800
77	Cajú	Anacardium occidentale L.	570
78	Cambá aca	Guazuma ulmifolia	550
79	Canela parda	Nectandra sp.	590
80	Cañafístula	Cassia fistula L.	710
81	Cañandong	Cassia grandis L. f.	750
82	Caoba	Swietenia macrophylla King.	
83	Caoba	Swietenia mahagoni (L.) Jacq.	850
84	Caoba africana	Khaya ivorensis A. Chev.	500
85	Caoba africana	Khaya nyasica Stapf.	600
86	Caoba africana	Khaya senegalensis (Desr.) A. Juss.	600
87	Caoba ahafo	Khaya anthotheca (Welw.) A.DC.	560
88	Caoba de Costa Rica	Swietenia humilis Zucc.	550
89	Carbonero de costa	Colubrina reclinata (L'Her.) Brongn.	1037
90	Casuarina	Casuarina equisetifolia Forst.	830
91	Cayeput	Melaleuca leucodendron L.	737
92	Cedro	Cedrela odorata L.	480
93	Ceiba	Ceiba pentandra (L.) Gaert.	350
94	Chirimoyo	Annona cherimola Mill.	660
95	Coco	Cocos nucifera L.	500
96	Cordobán	Didymopanax morototoni (Aubl.) Dcne.&Planch.	580
97	Dagame	Callycophyllum candidissimum D.C.	850
98	Ebano carbonero	Diospyros crassinervis (Krug. Et Urban) Standl.	1150
99	Encina de Australia	Grevillea robusta A. Cunn.	570
100	Eucalipto	Eucalyptus pellita F. Muell.	920
101	Gavilán	Simaruba glauca D.C.	486
102	Geebung	Persoonia falcata R. Br.	1040
103	Gmelina	Gmelina arborea Roxb.	430
104	Granadillo	Brya ebenus (L.) D.C.	1220
105	Guabá	Inga vera Willd.	736
106	Guácimo	Guazuma ulmifolia Lam.	510
107	Guamá candelón	Piscidia piscipula (L.) Sargent.	840
108	Guana	Sterculia cubensis Urb.	250
109	Guanacaste	Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Gris.	350
110	Guao de costa	Metopium toxiferum (L.)	1155

		Krug.&Urb.	
111	Guara	Cupania glabra Sw. var. glabra	726
112	Guara común	Cupania americana L.	550
113	Guayabo	Psidium guajava L.	800
114	Guayacán	Guaiacum officinalis L.	1360
115	Güira	Crescentia cujete L.	560
116	Inga dulce	Pithecellobium dulce (Roxb.) Benth.	640
117	Ipil-ipil	Leucaena leucocephala (Lam.) De Wit	540
118	Jaimiquí	Manilkara jaimiqui (Wr. ex Griseb) Dubard	1100
119	Jigüe	Lysiloma latisiliquum (L.) Benth.	800
120	Jiquí	Pera bumeliaefolia Griseb.	1197
121	Jobo	Spondias mombin L.	550
122	Jocuma	Mastichodendron foetidissimum (Jacq.) Cronq.	1150
123	Júcaro mastelero	Buchenavia capitata (Vahl.) Eichl.	630
124	Júcaro negro	Bucida buceras L.	930
125	Lirio de costa	Plumeria obtusa L.	709
126	Macurije	Matayba oppositifolia (A. Rich.) Britt.	821
127	Madero negro	Gliricidia sepium Kth.	870
128	Majagua	Hibiscus elatus Sw.	680
129	Mamey colorado	Pouteria mammosa (L.) Cronquist.	590
130	Mamey de Sto. Domingo	Mammea americana L.	820
131	Mamoncillo	Melicococus bijugatus L.	860
132	Manajú	Rheedia aristata Griseb.	941
133	Mango	Mangifera indica L.	600
134	Mantequero	Magnolia cubensis Urb.	663
135	Marabú	Dichrostachys cinerea (L.) Dcne.&Planch.	1110
136	Mora	Chlorophora tinctoria (L.) Gaud.	810
137	Morera blanca	Morus alba L.	770
138	Morera china	Broussonetia papyrifera L.	780
139	Morera negra	Morus nigra L.	670
140	Morera roja	Morus rubra L.	720
141	Najesí	Carapa guianensis Aubl.	590
142	Naranja	Citrus grandis	530
143	Naranja podrida	Parabancornia amapa	780
144	Naranjillo	Fagara naranjillo	865
145	Naranjo agrio	Citrus aurantium L.	670
146	Níspero mono	Pouteria mammosa (L.) Cronquist.	800
147	Nogal	Juglans insularis Gris.	800
148	Nogal de Cuba	Juglans insularis Gris.	320

149	Ocuje	Calophyllum antillanum Britton.	750
150	Orejas	Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Gris.	600
151	Palma real	Roystonea regia O.F. Cook.	960
152	Palo Campeche	Haematoxylon campechianum L.	1000
153	Palo de rosa	Dalbergia sisso Roxb.	860
154	Palo hormiguero	Triplaris americana L.	650
155	Palo maría	Calophyllum brasiliense	660
156	Paraiso	Melia azederach L.	595
157	Peralejo	Byrsonima crassifolia (L.) H.B.K.	690
158	Pino de Honduras	Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barret y Golfari	640
159	Pino de la Sierra Maestra	Pinus maestrensis Bisse	717
160	Pino de Mayarí	Pinus cubensis Griseb.	743
161	Pino hembra	Pinus tropicalis Morelet	791
162	Pino macho	Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret y Golfari	767
163	Piñón de botija	Jatropha curcas L.	300
164	Piñón florido	Gliricidia sepium (Jacq.) Steud.	1120
165	Sabicú	Lysiloma latisiliqua (L.) Benth.	800
166	Salvadera	Hura crepitans L.	410
167	Salwood	Acacia mangium Willd.	600
168	Samán	Phitecolobium saman (Jacq.) Benth.	860
169	Siguaraya	Trichilia havanensis Jacq.	675
170	Soplillo	Lysiloma bahamensis Benth.	780
171	Soplillo	Lysiloma latisiliquum (L.) Benth.	669
172	Tamarindo	Tamarindus indica	880
173	Teca	Tectona grandis L. f.	610
174	Uva caleta	Coccoloba uvifera Jacq.	700
175	Vacabuey	Curatella americana L.	710
176	Varía prieta	Cordia gerascanthus L.	905
177	Yaba	Andira inermis H.B.K.	900
178	Yagruma	Cecropia peltata L.	325
179	Yagrumo macho	Didymopanax morototoni (Aubl.) Dcne.&Planch.	580
180	Yaití	Gymnanthes lucida Sw.	1240
181	Yamagua	Guarea guara (Jacq.) P. Wills.	740
182	Yana	Conocarpus erecta L.	1100
183	Yarúa	Caesalpinea violacea (Mill.) Standl.	880
184	Yaya	Oxandra lanceolata (Sw.) Baill.	990