



ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO EN *Elaeis guineensis* Jacq. EN DOS SUELOS CONTRASTANTES DE LA PLANICIE COSTERA DE CHIAPAS †

[ESTIMATION OF BIOMASS AND CARBON IN *Elaeis guineensis* Jacq. ON TWO CONTRASTING SOILS OF THE CHIAPAS COASTAL PLAIN]

Francisco Guzmán-Camposeco*, Juan Francisco Aguirre-Medina, Virgilio Villalobos-Villalobos, Saúl Espinosa-Zaragoza and Juan Francisco Aguirre-Cadena

*Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas Campus IV. Carretera Costera Entroque Estación Huehuetán, Huehuetán, Chiapas, México. CP 30660. *Email. fran.storm.guz@gmail.com*

**Corresponding author*

SUMMARY

Background. Oil palm has the potential to capture and store CO₂, however, its growth is influenced by the environment. **Objective.** Estimate the biomass and the amount of carbon in the stem, leaves and roots of *Elaeis guineensis* Jacq. on two contrasting soils of the Chiapas Coast. **Methodology.** Biomass was sampled for organ estimation using the allometric model $Y = bX^k$ in its linear form. Carbon content was obtained in stem, leaves and roots. **Results.** The total biomass increased 42% in Huehuetan with cambisol soil compared to the Acapetahua site with fluvisol soil. The total biomass and stem and leaf ratio presents (R²) of 95 and 94%. The percentage of carbon was higher in stem, followed by leaf and root system. In total, the amount was 524.27 in Huehuetan and 315.75 kg of CO₂.plant⁻¹ in Acapetahua. The CO₂ equivalence in biomass by plants in Huehuetan was 266.72 and 142.14 Mg of CO₂ equivalent.ha⁻¹ for Acapetahua. **Implications.** The study was limited to two regions with particular environmental characteristics, therefore, the climate and soil differences induce variation in biomass and carbon estimates. **Conclusions.** The variations between biomass and carbon estimates are influenced by soil type. A significant relationship was found between plant height and the biometric variables of the stem, leaf and root and the total biomass. The amount of carbon stored varied depending on the age, height of the palms and the density of the plantation. The stem was the organ of the plant with the highest carbon content.

Key words: oil palm; biomass; carbon sequestration.

RESUMEN

Antecedentes. La palma de aceite tiene potencial para la captura y almacenamiento de CO₂, sin embargo, su crecimiento esta influenciado por el ambiente. **Objetivo.** Estimar la biomasa y la cantidad de carbono en tallo, hojas y raíces de *Elaeis guineensis* Jacq. en dos suelos contrastantes de la Costa de Chiapas. **Metodología.** Se muestreó biomasa para estimación por órganos mediante el modelo alométrico $Y = bX^k$ en su forma lineal. El contenido del carbono se obtuvo en tallo, hojas y raíces. **Resultados.** Se incrementó 42% la biomasa total en Huehuetán con suelo cambisol en comparación al sitio de Acapetahua con suelo fluvisol. La relación biomasa total y tallo y hoja presenta (R²) de 95 y 94%. El porcentaje de carbono fue mayor en tallo, seguido por hoja y sistema radical. En total la cantidad fue de 524.27 en Huehuetán y 315.75 kg de CO₂.planta⁻¹ en Acapetahua. La equivalencia de CO₂ en la biomasa por plantas en Huehuetán fue de 266.72 y 142.14 Mg de CO₂ equivalente.ha⁻¹ para Acapetahua. **Implicaciones.** El estudio se limitó a dos regiones con características particulares de ambiente por lo que, las diferencias en suelo y clima inducen variación en las estimaciones de biomasa y carbono. **Conclusiones.** Las variaciones entre las estimaciones de biomasa y carbono están influenciadas por el tipo de suelo. Se encontró relación significativa entre altura de planta y las variables biométricas del tallo, hoja y raíz y el total de la biomasa. La cantidad de carbono almacenada varió en función de la edad, altura de las palmas y la densidad de la plantación. El tallo fue órgano de la planta con mayor contenido de carbono.

Palabras clave: palma de aceite; biomasa; captura de carbono.

† Submitted June 30, 2020 – Accepted November 21, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License. ISSN: 1870-0462.

INTRODUCCIÓN

El establecimiento de nuevas plantaciones de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. se ha incrementado a 90,118 ha en el sureste de México y el estado de Chiapas presenta la mayor superficie con 43,443 ha (SIAP, 2017) y esto lo convierte en el principal productor de aceite, además de contribuir a disminuir el déficit de aceite que existe en el país (SAGARPA, 2017), y en la Planicie Costera de Chiapas se estableció principalmente en terrenos que se dedicaban a la ganadería bovina (Castellanos, 2018) en diferentes grupos de suelos y bajo condiciones de temporal.

En la actualidad los productores de palma de aceite y de otros cultivos como *Coffea arabica* L. y *Theobroma cacao* L. han buscado el pago por servicios ambientales al considerar que son sistemas agroforestales (CONANP, 2010), y en este contexto se ha estado considerando tal posibilidad al demostrarse en otras regiones del mundo que el cultivo de la palma tiene alto potencial para el secuestro atmosférico de CO₂ (Leblanc *et al.*, 2006; Rakesh *et al.*, 2020), el cual es uno de los gases que va en aumento y con mayor contribución al calentamiento global, y en consecuencia, mitigar el efecto invernadero producto del incremento de las emisiones de gases generadas por el hombre (IPCC, 2000) en combinación con eventos naturales que inciden sobre la disminución de la vegetación (Watson *et al.*, 2000).

Sin embargo, la capacidad de fijación de carbono por el cultivo está influenciada por el ambiente donde desarrolla y su rendimiento está relacionado con la planta, el suelo y el clima (Brazilio *et al.*, 2012). Se espera que en un ambiente sin limitaciones de recursos se incremente su crecimiento, al considerar que la fijación del carbono es el proceso acumulativo de la fotosíntesis que convierte los carbohidratos en biomasa de la planta (Kumar *et al.*, 2017). En palma de aceite se consignan diversos valores de fijación de carbono (Germer & Sauerborn 2008; Foong-Kheong *et al.*, 2010; Chase & Henson 2010) y en general, el rendimiento se asocia al suelo donde crece, aun cuando tiene amplia adaptación a diversos tipos de suelo, pero la deficiencia nutrimental induce disminución del crecimiento (Corley *et al.*, 1971), influenciada, además, por variaciones en las estructuras del mismo, como sucede en suelos someros donde el enraizamiento es superficial (Emilio *et al.*, 2013), o bien, en suelos de baja fertilidad donde se requiere la aplicación de fertilizantes químicos sintéticos para potenciar los rendimientos. Aunado a lo anterior, el crecimiento está en interacción con el material genético utilizado, el espaciamiento, la edad de la planta, la cantidad y distribución de lluvia (Dewi *et al.*,

2009) y del particular manejo de las plantaciones de palma a través del tiempo (Khasanah *et al.*, 2015).

La estimación del carbono almacenado en la parte aérea y subterránea de los árboles, permiten entender la dinámica del carbono almacenado en cada ecosistema (Sierra *et al.*, 2007). Para estimar el carbono, se utiliza el análisis alométrico, que considera el estudio del cambio de proporción de las partes de un organismo como resultado de su crecimiento, el cual se expresa en altura, diámetro, densidad de madera, entre otros (Khalid *et al.*, 1999; Chave *et al.*, 2005), es decir, mediante la evaluación de muestras representativas de los árboles (Joosten *et al.*, 2004) y Brown *et al.* (1989) agregan el uso de ecuaciones con base en altura de las plantas y la estratificación por zonas climáticas para estimar biomasa. Los procedimientos que se han desarrollado para la estimación del carbono en las plantas son diversos, y en nuestro caso, la información sobre el potencial de captura de carbono de diversos sistemas agrícolas es limitada, especialmente en cultivos agroindustriales, tal es el caso de la palma de aceite.

La situación anterior genera la necesidad de contar con información del carbono capturado en la biomasa de la palma de aceite en condiciones contrastantes de crecimiento en la Costa de Chiapas. Esta información puede servir como base para la elaboración de proyectos enfocados en la venta de bonos de carbono, además de la obtención de una ecuación alométrica que permita predecir la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea, bajo las condiciones edafoclimáticas del estado de Chiapas. El presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de estimar la biomasa y la cantidad de carbono en tallo, hojas y raíces de la palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. en dos suelos contrastantes de la planicie costera de Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en dos plantaciones de *Elaeis guineensis* Jacq., localizadas en la llanura costera de Chiapas. Una de ellas ubicada en el municipio de Acapetahua 15°9'45.92" LN y 92°42'28.58" LO, con clima cálido subhúmedo y lluvias en verano de 1,500-2,000 mm, temperaturas de 18.9, 27.6 y 36 °C (mínima, media y máxima), suelo perteneciente al grupo de los fluvisoles y altitud de 12 m. La otra se localiza en el municipio de Huehuetán 15° 0' 45.00" LN, 92° 25' 53.00" LO y altitud de 18 m con clima cálido subhúmedo y lluvias en verano de 2,420 mm, temperatura de 20, 28.2 y 38.3 °C (mínima, media y máxima), suelo perteneciente al grupo de los cambisoles (INEGI, 2017). La plantación en

Acapetahua tiene 25 años de establecida y una densidad de 123 plantas ha⁻¹ y en Huehuetán 16 años de establecida y 139 plantas.ha⁻¹.

Altura de planta

La altura del tallo se registró con cinta métrica de la base hasta el punto donde se encuentran las primeras hojas adultas. Este dato corresponde a la generatriz (g) de la siguiente fórmula: $g^2 = h^2 + (R-r)^2$, despejando h queda de la siguiente forma: $h = \sqrt{g^2 - (R - r)^2}$ donde h es altura, R es radio mayor (D*0.5) y r es radio menor (d*0.5) y g² es la generatriz (Cailliez 1980).

Radio y diámetro

Para determinar el diámetro, se consideró como la base inferior del tallo a 1.3 m de altura, que corresponde al diámetro a la altura del pecho DAP, y la parte alta hasta el punto donde se encuentran la hoja 33 de la palma de aceite (Corley y Gray, 1976). La circunferencia permite obtener el diámetro al dividirlo entre el valor de pi (π): Diámetro = Circunferencia/π

Muestreo de biomasa para estimación de carbono por órganos

Para la biomasa del tallo se tomó una muestra en forma de cubo (10 cm³) de la parte media del tallo. En algunos casos existían partes de peciolo adheridos al tallo y fueron removidos antes del muestreo. La biomasa de las hojas se estimó de acuerdo a la propuesta de Brown (1997) quien consigna que es el equivalente al 65% de la biomasa del tallo y para determinar el carbono la muestra foliar se recolectó de la hoja número 17, y de la misma, fueron seleccionados cuatro foliolos de la parte media. Además, se obtuvo una porción de cinco cm de raquis de la parte central de la hoja. Para la obtención del peso de raíces se utilizó una barrena tipo holandesa de acero inoxidable (sin marca, con diámetro y longitud de 10 y 50 cm) en ocho muestras en el área de goteo de cada árbol.

Las muestras de tallo, raíces y hoja se deshidrataron en estufa de aire forzado (VWR, Mod. No. 1390FM, USA) a 60 °C hasta peso constante y el peso seco se registró en balanza de platillo superior (Ohaus, Adventurer Pro). Posteriormente se molieron en molino de martillos (tamiz de 1.0 mm) (Laboratory Mill, Mod. No.4, USA) y de esta forma fueron guardadas en bolsa de plástico y en desecador de vidrio.

Para estimar la porción aérea de la palma en base seca se utilizó la fórmula Biomasa = Volumen (V) * Densidad (D) propuesta por Castilla (2004). Al considerar que la palma de aceite presenta la forma de

cono truncado, es decir, presenta diferencias en grosor entre la base inferior y la base superior, se calculó el volumen con la siguiente fórmula:

$$V = 1/3 \pi h (R^2 + r^2 + Rr),$$

donde V (volumen), h (altura), R (Radio mayor: diámetro mayor * 0.5) y r (radio menor: diámetro menor * 0.5).

Para obtener la densidad del tallo se sustituyen los valores del peso seco de las muestras y su volumen con la fórmula: Densidad = Peso de muestra / Volumen de muestra. El volumen se obtuvo al medir el desplazamiento de agua en un vaso de precipitado de 500 mL, entre la diferencia del volumen inicial y final del agua.

Porcentaje de carbono en tallo, raíces y hojas

En la determinación del carbono en las muestras se empleó el método de combustión húmeda de Walkley y Black (1934). Para tal fin se pesaron 0.02 g de las muestras secas y se depositaron en tubos de ensayo (22 mm x 15 cm). Se agregaron 5 mL de dicromato de potasio y una vez que se agitó con agitador vórtex (KMC 1300v Vision Scientific Co. Ltd.), se agregaron 10 mL de ácido sulfúrico. Se volvió a agitar y se dejó enfriar por 30 minutos. Después de este tiempo se agregaron 35 mL de agua destilada, se agitó, y el tubo se dejó reposar 30 minutos. La cantidad de agente oxidante consumido en esta reacción se determinó por espectrofotometría (espectrofotómetro METASH, Mod. UV-6000, China) a 590 nm, comparando con las lecturas de una curva de calibración con patrones conocidos de solución de sacarosa de concentración conocida (4,343 mg de carbono por mL).

Cálculos para la obtención del porcentaje de carbono

Para el cálculo del porcentaje de carbono de cada muestra se sustituyeron los valores obtenidos de la curva de calibración (Arrieché *et al.*, 2013):

$$\% C = \frac{(\text{absorbancia} - a) * 1,3333}{b * \text{Peso muestra} * 1000} * 100$$

Donde % C, es el contenido de carbono expresado en porcentaje, a es la intersección de la línea de tendencia en la curva de calibración y b es la pendiente de la línea de tendencia en la curva de calibración.

Para estimar la cantidad de carbono fijado en kg se multiplicó el porcentaje obtenido de las partes de la planta por el peso de las mismas, quedando de la siguiente forma: $\text{kg C} = \text{kg P} * \text{porcentaje de C}$: donde kg P es el peso de cada parte del árbol.

La cantidad de CO₂ equivalente fijado en biomasa total de cada palma de aceite se determinó por medio del producto del peso del carbono presente en la biomasa seca y la relación existente entre el peso total de la molécula de CO₂ (44) y el átomo de carbono (12), es decir, cada kilogramo de carbono encontrado en la biomasa seca del árbol equivale a 3.66 kg de CO₂ (Tubiello *et al.*, 2015).

Determinación del modelo alométrico

Para tal fin, se utilizó el análisis estadístico descriptivo y pruebas de correlación ($\alpha=0.05$) con los datos. La estimación de la biomasa y la cantidad de carbono se generó con el empleo del modelo alométrico $Y = bX^k$ en su forma lineal, que relaciona el contenido de carbono con el diámetro normal o a la altura del pecho (1.3 m) de cada árbol. $\ln(Y) = \ln(b) + k\ln(X)$ (Ramos-Escalante *et al.*, 2018); Donde Y es la biomasa total (kg) y X altura (m), b y k son los parámetros de la función que representan la ordenada al origen y la pendiente del modelo de regresión (Acosta-Mireles *et al.*, 2002).

Los valores obtenidos de biomasa fueron sometidos a análisis de ANOVA mediante el paquete estadístico SAS 9.0, y se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia ($P \leq 0.05$). La relación entre variables se realizó mediante el programa Sigma Plot ver 11.0 de Jandel Scientific.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta

La altura de la planta varió 2.5 m entre localidades y el mayor incremento se presentó en la plantación de Huehuetán, que es nueve años mayor que la establecida en Acapetahua. Sin embargo, el diámetro a la altura del pecho (DAP) resultó ligeramente inferior en la localidad Huehuetán (0.65 ± 0.03 m) en comparación con Acapetahua (0.72 ± 0.016 m). Este resultado puede estar influenciado por el incremento en la densidad de la plantación en Huehuetán (Cuadro 1). Por otro lado, Ramos-Escalante *et al.* (2018) señalan en plantas de palma de 12 años, alturas y diámetros (DAP) de 3.48, 3.94 y 3.77 m y 0.77, 0.90, y 0.73 m, respectivamente. Para el caso de plantas de 23 años, Khalid *et al.* (1999a) reportan alturas de 5.92 a 9.12 m y diámetros (DAP) de 0.42 a 0.46 m.

Biomasa total y por órgano

La biomasa de las estructuras de tallo y hoja en la palma de aceite presentan diferencias contrastantes entre localidades. El peso del tallo incrementó 229 kg, y las hojas 148.99 kg en el sitio con suelo Cambisol (Huehuetán) y mayor tiempo de establecida en comparación con las palmeras localizadas en Acapetahua. Se espera que la plantación incremente su biomasa con la edad (Hartley 1977). Además, el crecimiento de las plantas en Acapetahua es menor, seguramente influenciado por las características físico-químicas del suelo somero del grupo fluvisol que presentan inundaciones periódicas.

De las estructuras de la planta, la biomasa asignada al tallo fue la más alta en las dos localidades en relación a los componentes morfológicos hoja y raíz (Figura 1). Este hecho se expresa de la misma forma en diferentes regiones productoras de palma de aceite, como en Malasia, donde Asari *et al.* (2013) compararon la asignación de biomasa en hojas y tallo de 60 plantaciones en diferentes ambientes en condiciones de temporal con edades comprendidas entre 6 y 23 años, y en todos los casos, otorgan mayor asignación de biomasa al tallo. Sin embargo, Khalid *et al.* (1999a) encontraron tasas más bajas de asignación de biomasa al tallo en plantaciones maduras en Malasia, pero con incremento en la biomasa radical (Khalid *et al.*, 1999b). En condiciones de riego, también la biomasa en plantaciones adultas presenta mayor asignación al tallo en comparación con las hojas (Suresh and Kiran, 2011).

En nuestro caso, no se encontraron diferencias en la biomasa radical de las dos plantaciones evaluadas, aun cuando se muestreó en el área alrededor de la base de la palma y a menos de 0,5 m del suelo, que es donde según Hartley (1988) se concentran la mayoría de las raíces. Resultados similares sin diferencia en biomasa radical y proporciones semejantes de raíces reportan Sanquetta *et al.* (2015) en palmas de aceite de diferente edad en Brasil. Sin embargo, Miguel *et al.* (2016) en palmeras de 12 años de edad citan valores inferiores, de 25.08 ± 3.0 a 26.56 ± 2.0 kg.planta⁻¹, a los encontrados en esta investigación y Syahrudin (2005) presentan valores muy altos de 40 100 a 52 400 kg.ha⁻¹ en plantaciones de palma de 20 y 30 años en Indonesia y agrega que la proporción de raíces no cambia con la edad de las palmas, y al respecto Fahmuddin *et al.* (2009) se refiere a la dificultad de estimar la biomasa de raíces.

En nuestro caso, los muestreos realizados en las palmeras fueron en suelos considerados jóvenes, superficiales y poco desarrollados, que, además, en el caso de los cambisoles se caracterizan por una capa de

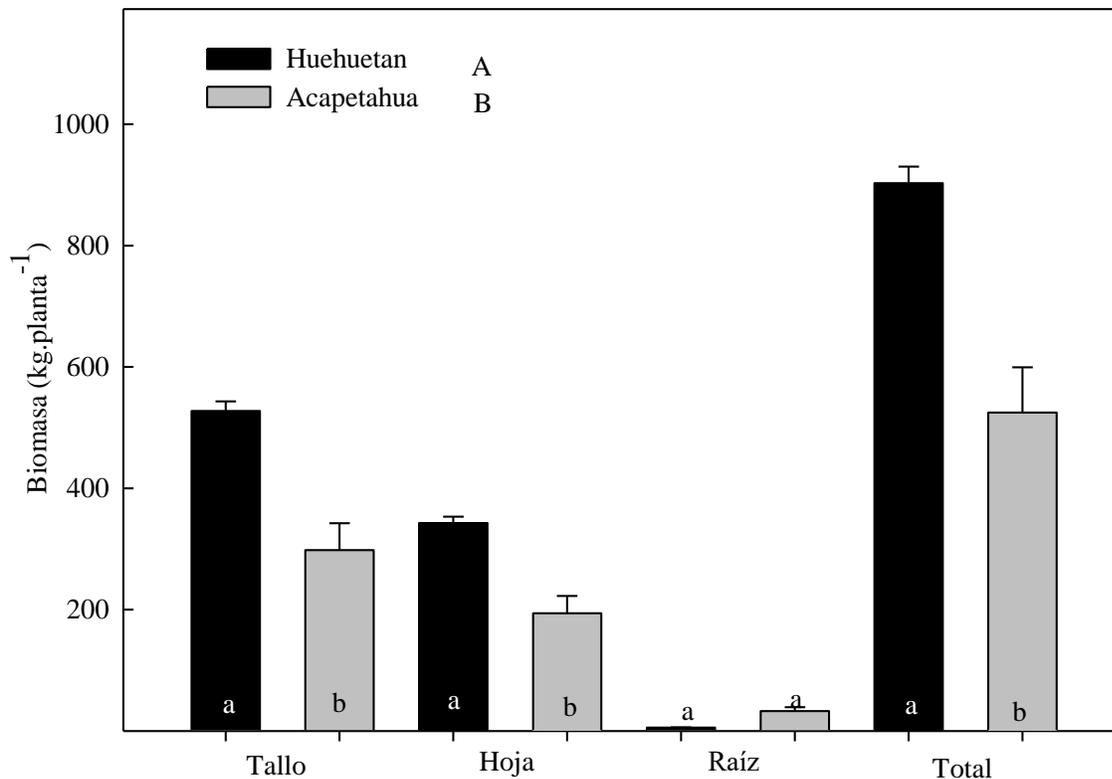


Figura 1. Biomasa seca total y por órgano de *Elaeis guineensis* Jacq. creciendo en dos suelos contrastantes de la región del Soconusco, Chiapas. La línea vertical indica \pm el error estándar de cuatro repeticiones. Letras diferentes en cada tratamiento son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). CV = 16% para tallo, CV = 16% para hoja, CV = 33% para raíz y CV = 15% biomasa total.

terrones del tipo de la roca subyacente y los fluvisoles con poca materia orgánica, someros y de fertilidad variable. En ambos casos se presentan diversas formas de impedancia al crecimiento de la raíz, principalmente piedras, que obligan al crecimiento diferencial del sistema radical. En general, los resultados encontrados sugieren influencia del ambiente y es probable que también lo sean de la forma y cuidado del muestreo. Al respecto, Houghton (2005) indica que las diferencias en biomasa radical pueden estar influenciadas por el tipo de suelo donde crecen. Sin embargo, es probable que las diferencias en biomasa radical en plantaciones con diferente edad sean más consistentes cuando las palmeras crecen en suelos profundos.

El promedio de la biomasa total para las plantas de Huehuetán fue de 902.92 ± 54 kg.palma⁻¹, promedio mayor que las plantas de Acapetahua que fue de 524.70 ± 149 kg. palma⁻¹. Estos valores son inferiores a los citados por Ramos-Escalante *et al.* (2018) en Tapachula con suelo Phaeozem y en Huehuetán y en Villa Comaltitlán en suelo del grupo Cambisol, en la misma región Costera del Pacífico de Chiapas. En Malasia, Khalid *et al.* (1999 a) encontraron

equivalencias de biomasa seca de 627.20 kg.palma⁻¹ en plantaciones con densidad de 136 palmas.ha⁻¹. En otra plantación con 144 palmas.ha⁻¹ citan 594 kg de biomasa total.planta⁻¹ en plantación 23 años. Por su parte Corley *et al.* (1971) estimaron promedio de 556 kg de biomasa total en palmas de aceite de 27 años y de 252 kg y 493 kg para las palmas de aceite a las edades de 7½ y 16 años respectivamente. Los resultados anteriores, con diferencias en edad, expresan similitud con la biomasa total encontrada por palmera en la Costa de Chiapas. Las variaciones en las estimaciones de biomasa, en general, presentan cambios que se atribuyen a las condiciones de crecimiento de las plantas y las prácticas agronómicas (Kongsager *et al.*, 2012).

Al analizar la relación entre las variables biométricas de tallo, hoja y raíz y el total de la biomasa con la altura de la planta, las correlaciones lineales fueron significativas al 95% de probabilidad (Figura 2). Al respecto, Syahrudin (2005) presentan esta misma relación entre altura total y la longitud y biomasa del tallo, y el diámetro del tallo a 50 cm de altura.

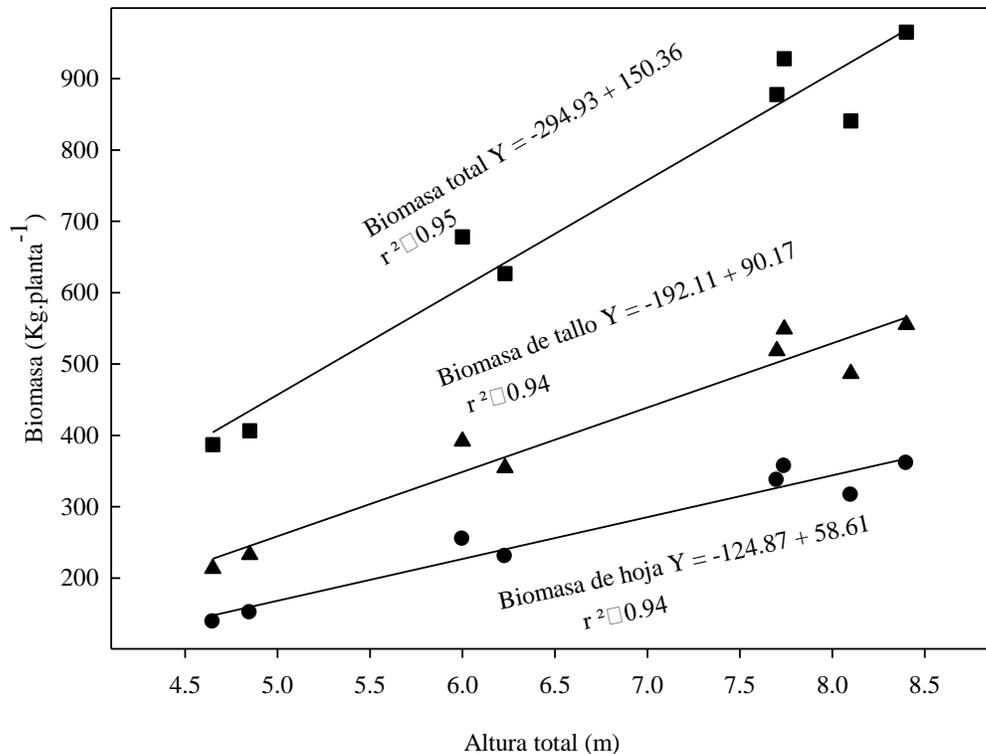


Figura 2. Relación entre la altura de la palma de aceite y la biomasa seca de tallo, hoja y total de dos plantaciones en la región del Soconusco, Chiapas.

Por su parte Asari *et al.* (2013) citan que la altura de la palma es más fuertemente asociada con la edad, particularmente con la longitud del tallo en el estado de Selangor, en la costa oeste de la Malasia Peninsular. Estos autores agregan que la edad también ejerce una influencia significativa en la biomasa total.

Porcentaje de carbono orgánico

El contenido de carbono fue diferente entre los órganos de la planta y la mayor cantidad se presentó en el tronco seguido por las hojas y raíces (Cuadro 1). Varió de 57.20 a 63.66 % para tallo, 43.10 a 68.71 % para hojas y 41.00 a 53.74 % en raíces de las plantas en suelo cambisol de Huehuetán. Para Acapetahua el rango de carbono almacenado en el tallo, hojas y raíces fue de 50.10 a 64.13 %, 51.41 a 70.71 % y 39.40 a 54.61 % respectivamente. En general, el promedio del contenido de carbono en los sitios de Huehuetán (57.90 %) y Acapetahua (56.91 %) es similar.

Los resultados anteriores confirman lo encontrado por Suresh *et al.* (2008) quienes citan que el contenido de carbono tiende a ser más bajo en las hojas y entre edades, es menor en las jóvenes, en comparación a las hojas viejas. Contenidos de carbono similares en hoja

encontró Syahrudin (2005) en Indonesia entre 40.4 y 43.7 %.

Cuadro 1. Porcentajes de carbono por estructura de la planta de palma de aceite en dos localidades del Soconusco, Chiapas.

Lugar	Estructura de la planta	Porcentaje de carbono
Huehuetán	Tallo	59.88 ± 1.39
	Hoja	57.90 ± 5.45
	Raíz	48.63 ± 2.77
Acapetahua	Tallo	60.01 ± 3.31
	Raíz	49.51 ± 3.44

Los valores son promedios de cuatro repeticiones ± el error estándar. Sin diferencia estadística significativa.

Cantidad de carbono fijado

La captura de carbono total en palma de aceite estimada en las plantas de Acapetahua fue de 208.52 kg menos que la localidad Huehuetán (Cuadro 2). Resultados similares citan Miguel *et al.* (2006) con

valores entre 502 ± 31 y 547 ± 43 kg de CO_2 .planta⁻¹ e inferiores son citados por Castilla (2004) en Colombia.

Cuadro 2. Biomasa y contenido de carbono promedio en *E. guineensis* Jacq. creciendo en dos suelos contrastantes en la Planicie Costera de Chiapas, México.

Variable	Huehuetan	Acapetahua
DAP (m)	0.65 ± 0.03	0.72 ± 0.016
Altura (m)	7.98 ± 0.16	5.43 ± 0.398
Biomasa (kg.planta ⁻¹)	902.92 ± 27.39	524.7 ± 74.63
% C	54.25	52.96
kg de C.planta ⁻¹	524.27	315.75
Mg C.ha ⁻¹	72.87	38.84
kg C equivalente.planta ⁻¹	1918.83	1155.64
kg CO ₂ equivalente.ha ⁻¹	266 717.60	142 144.26
Mg CO ₂ equivlente.ha ⁻¹	266.72	142.14

Otros autores como Ramos-Escalante *et al.* (2018) citan valores de carbono por planta semejantes a los obtenidos en Huehuetán, pero en otras plantaciones creciendo en la Planicie costera de Chiapas, como Tapachula, Huehuetán y Villa Comaltitlán con suelos

Fluvisoles y con cantidad de carbono por planta de 502.90, 547.62 y 547.63 kg, respectivamente. De acuerdo a la edad de la plantación, la capacidad de almacenar CO_2 incrementa, así, Pulhin *et al.* (2014) señalan incrementos de 1.2, 7.43, 14.72 y 55.0 Mg CO_2 ha⁻¹ con edad de dos, cinco, siete y nueve años en Filipinas. Por su parte Morel *et al.* (2011) citan promedios de 31.0 a 72.0 Mg CO_2 .ha⁻¹ en Malasia, Khasanah *et al.* (2015) señalan promedios de 37.8 a 42.1 Mg CO_2 .ha⁻¹ en Indonesia y Germer y Sauerborn (2008) indican que el CO_2 en la biomasa de la palma varía de 25 Mg CO_2 ha⁻¹ a más de 50 Mg CO_2 ha⁻¹ hacia el final de la vida económica de la plantación, después de 25 años.

Lamade y Bouillet (2005) y Thenkabail *et al.* (2004), señalan que las diferencias encontradas de CO_2 en las palmeras de aceite se debe a las condiciones agroclimáticas del lugar de cultivo, a la edad de la planta y al tipo de semilla o las variedades que afectan la tasa de crecimiento y altura de la palma aceitera y a las variaciones del tipo de suelo y el manejo de plantaciones.

La relación entre altura y los kilos de carbono estimados en la planta, presenta un coeficiente de determinación (R^2) fue de 66 %. Es probable que la baja relación se debe al bajo número de nuestras (Figura 3), sin embargo, el valor es superior de 57.7 % obtenido por Ramos-Escalante *et al.* (2018).

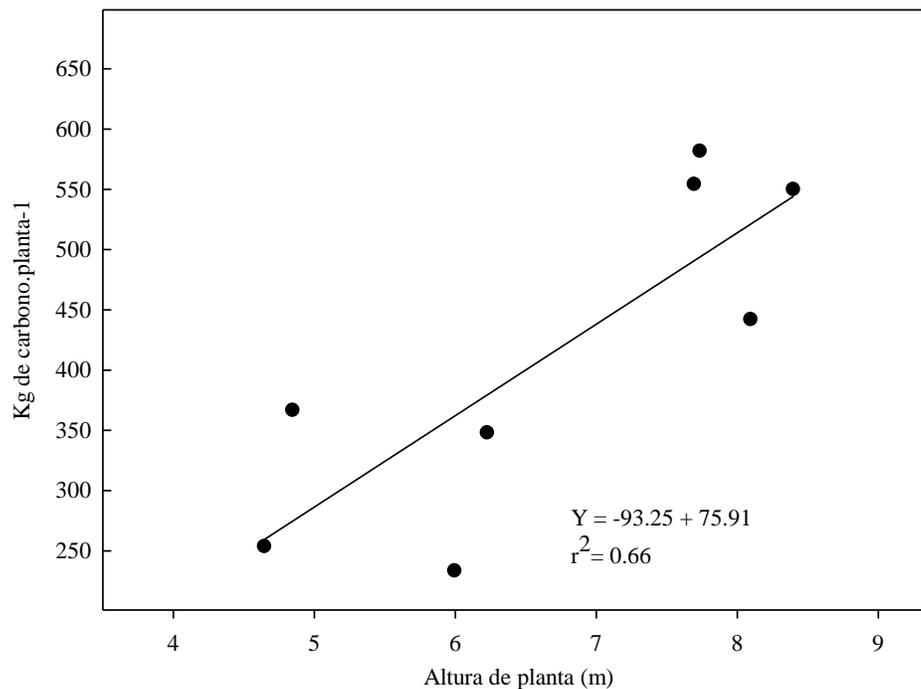


Figura 3. Relación entre la altura de la palma de aceite y la cantidad de carbono por planta en dos plantaciones de la región del Soconusco, Chiapas.

Por su parte Kongsager *et al.* (2012) encontraron relación de 63 % entre la edad de la palma de aceite y el contenido de carbono por ha.

CONCLUSIONES

Las variaciones entre las estimaciones de biomasa y carbono están influenciadas por el tipo de suelo. Se encontró relación significativa entre altura de planta y las variables biométricas del tallo, hoja y raíz y el total de la biomasa. La cantidad de carbono almacenada varió en función de la edad, altura de las palmas y la densidad de la plantación. El tallo fue órgano de la planta con mayor contenido de carbono.

Financiamiento. La presente investigación fue financiada por la Universidad Autónoma de Chiapas y la aportación de recursos de los autores.

Conflicto de intereses. Los participantes en la presente investigación y autores del escrito declaramos no tener ningún tipo de conflicto de intereses.

Cumplimiento de las normas éticas. No aplica.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con Francisco Guzmán Camposeco, correo electrónico fran.storm.guz@gmail.com previa solicitud razonable.

REFERENCIAS

- Arrieche, I., Ruíz, D.M., Carrillo de Cori, C.E., León, R.M., Aular, L.M., Mora, R., Castillo, L., Tovar, M.R., Martínez, A., Díaz, T., Baptista, H., Cruz, J., Reverón, A.M., Silva C., Alfonso, N. 2013. *Unificación de criterios para la determinación de materia orgánica del suelo*. Estudio Interlaboratorio. *Venezuelos* 21:33-42. [En línea] Disponible en: <http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venezuela/article/view/6543> [Consultado el 15 de mayo del 2020].
- Asari, N., Suratman, M.N., Jaafar, J., Khalid, M.M. 2013. *Estimation of above ground biomass for oil palm plantations using allometric equations*. IPCBEE 2013: Proceedings of the 4th International Conference on Biology, Environment and Chemistry. IACSIT Press, Singapore. 58, 10-114. Available at <<http://doi.org/10.7763/IPCBEE>>.
- Brazilio, M., Bistachio, N.J., Silva, V.C., Nascimento, D.D. 2012. O Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) Revisão. *Bioenergiaem Revista: Diálogos*, 2, pp. 27-45. [Online] Available at <<http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/51/28>>. [Accessed 14 May 2020].
- Brown, S. 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer* (FAO Forestry Paper - 134). Food and agriculture organization of the United Nations, Rome. Available at <<http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>>. [Accessed 14 May 2020].
- Brown, S., Gillespie, A.J.R., Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4), pp. 881-902. <https://doi.org/10.1093/forestscience/35.4.881>.
- Cailliez, F. 1980. *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos*. FAO, Rome. <<http://www.fao.org/publications/card/en/c/4176c5d9-85c2-571b-bd16-6a46fb42e52b>>.
- Castellanos, N. A. 2018. Palma de aceite en tierras campesinas: la política de las transformaciones territoriales en Chiapas, México. *Revista Pueblos y fronteras digital*, 13, pp.1-34. doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2018.v13.357
- Castilla, C. 2004. Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 25, pp. 366-371. [En línea] Disponible en <<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1101>> [Consultado el 24 de abril del 2020].
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, pp. 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>.
- Chase L.D.C., Henson I.E. 2010. A detailed greenhouse gas budget for palm oil production, *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8:3, pp. 199-214. <http://dx.doi.org/10.3763/ijas.2010.0461>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2010. Dirección General de Operación Regional. Pago Por Servicios Ambientales en Áreas Naturales Protegidas.

- Disponble:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/80376/PSA_en_ANP_2003-2008_coments_FJMG-JMfinal-resumen.pdf.
 Consultado el 25 de junio 2020
- Corley, R. H. V., Hardon, J. J., Tang, Y. 1971. Analysis of growth of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) I. Estimation of growth parameters and application in breeding. *Euphytica*, 20, pp. 307-315. <https://doi.org/10.1007/BF00056093>.
- Corley, R.H.V., Gray, B. 1976. *Growth and morphology*. In: Corley R.H.V., Hardon J.J. and Wood B.J. eds. Oil Palm Research. Amsterdam: Elsevier. pp. 7-21. [online] Available at <<https://doi.org/10.1017/S0014479700008188>>.
- Dewi, S., Khasanah, N., Rahayu, S., Ekadinata, A., & van Noordwijk, M. 2009. *The carbon footprint of Indonesian palm oil production: A Pilot study*. Bogor: World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office. [Online] Available at <<http://outputs.worldagroforestry.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=35149>> [Accessed 24 April 2020].
- Emilio, T., Quesada, C.A., Costa, F.R.C., Magnusson, W.E., Schiatti, J., Feldpausch, T.R., Brien, R.J.W., Baker, T.R., Chave, J., Álvarez, E., Araújo, A., Bánki, O., Castilho, C.V., Honorio C, E.N., Killeen, T.J., Malhi, Y., Oblitas Mendoza, E.M., Monteagudo, A., Neill, D., Alexander Parada, G., Peña-Cruz, A., Ramirez-Angulo, H., Schwarz, M., Silveira, M., terSteege, H., Terborgh, J.W., Thomas, R., Torres-Lezama, A., Vilanova, E., Phillips, O.L., 2013. Soil physical conditions limit palm and tree basal area in Amazonian forests. *Plant Ecology & Diversity*, 7(1-2), pp. 215–229. <http://doi.org/10.1080/17550874.2013.772257>.
- Fahmuddin, A., Runtunuwu, E., Tania, J., Susanti, E., Komara, H., Syahbuddin, H., Las, I., Van Noordwijk, M. 2009. Carbon dioxide emission in land use transitions to plantation. *Journal Litbang Pertanian*, 28(4), pp. 119–126. [e-journal] Available at <<http://outputs.worldagroforestry.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=33262>>.
- Foong-Kheong, Y., Sundram, K., Basiron, Y. 2010. Mitigating climate change through oil palm cultivation. *International Journal of Global Warming*, 2(2), pp.118–127. doi:10.1504/ijgw.2010.033717
- Germer, J., Sauerborn, J. (2008). Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Environment, Development and Sustainability*, 10, pp. 697–716. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-006-9080-1>.
- Hartley, C.W.S. 1988. *The Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. (Third Edition) Harlow, Essex, England, Longman Scientific & Technical. Longman Group UK Limited. [online] Available at <<https://doi.org/10.1017/S0014479700018561>>.
- Houghton, R. A. 2005. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Global Change Biology*, 11(6), pp. 945–958. doi:10.1111/j.1365-2486.2005.00955.x.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2017. *Anuario estadístico y geográfico de Chiapas*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. [En línea] Disponible en <<https://www.inegi.org.mx/app/publicaciones/>> [Consultado el 19 de abril de 2020].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. *Land use, Land-use Change and Forestry*. Cambridge, U. K. Cambridge University, Press. [online] Available at <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=0IPCC200> [Accessed 22 April 2020].
- Joosten, R., Schumacher, J., Wirth, C., and Schulte, A. 2004. Evaluate tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in Western Germany. *Forest Ecology and Management*, 189, pp. 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.037>.
- Khalid, H., Zin, Z., Anderson, J.M. 1999a. Quantification of oil palm biomass and nutrient value in a mature plantation. I. Above-ground Biomass, *Journal of Oil Palm Research*, 1, pp. 23–32. [e-journal] Available at <<http://jopr.mpob.gov.my/?mycat=1999%20Vo1%2011%20No%201>> [Accessed 24 April 2020].

- Khalid, H., Zin, Z., Anderson, J.M. 1999b. Quantification of oil palm biomass and nutrient value in a mature plantation. II. Belowground Biomass. *Journal of Oil Palm Research*, 2, pp. 63-71. [e-journal] Available at <http://jopr.mpob.gov.my/?mycat=1999%20Vol%2011%20No%202> [Accessed 24 April 2020].
- Khasanah Ni'matul, van Noordwijk M., Ningsih Harti. 2015. Aboveground carbon stocks in oil palm plantations and the threshold for carbon-neutral vegetation conversion on mineral soils. *Cogent Environmental Science*, 1, 1119964. <http://doi.org/10.1080/23311843.2015.1119964>.
- Kongsager, R. Napier, J. Mertz, O. 2012. The carbon sequestration potential of tree crop plantations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. <http://doi.org/10.1007/s11027-012-9417-z>.
- Kumar, K.M., Pinnamaneni, R., Vijaya, T. L. and Suresh K. 2017. Carbon Sequestration Potential in a Ten-Year-Old Oil Palm under Irrigated Conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (8), pp. 1339-1343. [e-journal] <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.163>.
- Lamade, E. Bouillet, J.P. 2005. Carbon storage and global change: the role of oil palm. *Oilseeds & Crops and Lipids*, 12(2), pp. 154-160. <http://doi.org/10.1051/oc.2005.0154>.
- Leblanc, H., Russo, R., Cueva, J.J. Subía, E. 2006. Fijación de carbono en palma aceitera en la región tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Tropical*, 2(2), pp. 143-148. [En línea] Disponible en <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000259.pdf> [Consultado el 23 de abril de 2020].
- Miguel, V., Ley, C., Arce, E., Posada, C., Guerra, M., Pinto, R., y otros. 2016. Estimación de carbono acumulado en la palma de aceite en el Soconusco, Chiapas. Congreso Mesoamericano de Investigación UNACH, 858-862. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas. [En línea] Disponible en http://www.congreso.mesoamericano.unach.mx/images/PDF/REVISTA_CONGRESO_2019.pdf [Consultado el 14 de mayo de 2020].
- Morel, A.C., Sassan, S.S., Yadvinder, M., Nicholas, J.B., Lindsay, B., David, B., Reuben, N., Robert, C.O. 2011. Estimating aboveground biomass in forest and oil palm plantation in Sabah, Malaysian Borneo using ALOS PALSAR data. *Forest Ecology and Management*, 262(9), pp.1786–1798. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.008>.
- Pulhin, F.B., Lasco, R.D. Urquiola, J.P. 2014. Carbon sequestration potential of oil palm in Bohol, Philippines. *Ecosystems & Development Journal*, 4(2), pp. 14-19. <https://doi.org/10.1101/2020.04.14.041822>.
- Rakesh, S.S., Davamani, V., Parwin Banu, K.S., Maragatham, S., Lakshmanan, A., Parameswari, E., Velmurugan, M. 2020. Assessing the Potential of *Elaeis guineensis* Plantations for Carbon Sequestration and Fresh Fruit Bunch Yield in Coimbatore, Tamil Nadu. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(6), pp. 80-90. <http://doi.org/10.9734/CJAST/2020/v39i630562>.
- Ramos-Escalante, G., Ley de-Coss, A., Arce-Espino, C., Escobar-España, J.C., Raj-Aryal, D., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., Guerra-Medina, C.E. 2018. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el trópico húmedo de Chiapas, México. *Agrociencia*, 52, pp. 671-683. <https://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2018/jul-ago/jul-ago-18.html>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Subsecretaría de Agricultura. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Palma de Aceite Mexicana. 11 pág. Disponible https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257081/Potencial-Palma_de_Aceite.pdf. Consultado el 25 de junio del 2020
- Sanquetta, C.R., Netto, S.P., Dalla Corte, A.N., Rodrigues, A. L., Behling, A. Sanquetta, M.N.I. 2015. Quantifying biomass and carbon stocks in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Northeastern Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 10(43), pp. 4067-4075. <http://doi.org/10.5897/AJAR2015.9582>.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Producción Agrícola. Ciclo:

- Cíclicos-Perenne. Riego+Temporal. Consultado el 03 de febrero de 2020, de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea] Disponible en <<http://www.siap.gob.mx/>> [Consultado el 24 de abril de 2020].
- Sierra, C., Del Valle, J., Orrego, S., Moreno, F., Harmon, M., Zapata, M., y otros. 2007. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porcè region, Colombia. *Forest Ecology and Management*, 243, pp. 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.026>.
- Suresh, K. and Kumar, K.M. 2011. Carbon sequestration potential of oil palm under irrigated and rainfed conditions. *Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development*, 26(2), pp. 55-57. Available through: Indian Journals <<https://www.indianjournals.com/ijor.aspx>> [Accessed 23 April 2020].
- Suresh, K., Mathur, R.K., Babu, M.K. 2008. Screening of oil palm duras for drought tolerance-stomatal responses, gas exchange and water relations. *Journal of Plantation Crops*. 36 (3), pp. 270-275. Available through: CAB Direct online database <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103048467>> [Accessed 15 May 2020].
- Syahrudin, S. 2005. *The potential of oil palm and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia*. (Ecology and Development Series No. 28), Cuvillier Verlag, Göttingen. Lower Saxony, Germany. Available through: German National Library website <https://www.dnb.de/EN/Home/home_node.html> [Accessed 15 May 2020].
- Thenkabail, P.S., Stucky, N., Griscom, B.W., Ashton, M.S., Diels, J., Meer, B. van der, Enclona, E. 2004. Biomass estimations and carbon stock calculations in the oil palm plantations of African derived savannas using IKONOS data. *International Journal of Remote Sensing*, 25:23, pp. 5447-5472. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160412331291279>.
- Tubiello, F.N., Córdor-Golec, R.D., Salvatore, M., Piersante, A., Federici, S., Ferrara, A., Rosi, S., Flammini, A., Cardenas, P., Biancalani, R., Jacobs, H., Prasula, P., Prospero, P. 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*. FAO. Roma [ISBN: 978-92-5-308674-0]. <http://www.fao.org/3/a-i4260s.pdf>
- Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J., Dokken, D. J. 2000. *Land use, land-use change and forestry*. Available from Cambridge University Press, <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=0> [Accessed 23 April 2020].