

COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DE *Theobroma cacao* L. EN PLANTACIONES CON RECONVERSIÓN ORGÁNICA EN TABASCO, MÉXICO

REPRODUCTIVE BEHAVIOR OF *Theobroma cacao* L. IN PLANTATIONS WITH ORGANIC RECONVERSION IN TABASCO, MÉXICO

Triano-Sánchez, A.¹; Palma-López, J.D.¹; Lagunes-Espinoza, L.C.^{1*}; Salgado-García, S.¹; Córdova-Ávalos, V.¹

¹Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n 86500 H. Cárdenas, Tabasco.

*Autor de correspondencia: lagunes@colpos.mx

RESUMEN

Se evaluaron dos plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) reconvertidas a orgánicas en Tabasco, México con diferente densidad de árboles de sombra, para conocer su efecto sobre la floración y fructificación de los árboles de cacao. La plantación de alta densidad tenía 233 árboles de sombra y la de baja densidad 123 árboles. Se evaluó el número de flores abiertas, número de chillillos (frutos inmaduros) formados y "amarrados", número de frutos/planta/mes y la radiación fotosintéticamente activa incidente e interceptada sobre el dosel del árbol de cacao (RFA, μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Los árboles de sombra interceptaron el 51% de la RFA incidente en la plantación de baja densidad y el 62.4% en la plantación de alta densidad, llegando a los árboles de cacao 49% y 37.6% de la RFA total incidente respectivamente con diferencias significativas. De la RFA total incidente sobre los árboles de cacao, el dosel de éstos interceptó 80.9% en la plantación de baja densidad y 68.5% en alta densidad de árboles de sombra. El número de flores en alta densidad de sombra fue mayor (164.5 flores por árbol), mientras que en la baja densidad (60.5 flores por árbol). En las plantaciones en estudio, una RFA incidente de 49% sobre el dosel de cacao favorece la producción, amarre de chillillos y número de frutos maduros por árbol.

Palabras claves: Cacao, radiación fotosintéticamente activa, floración, Sombra.

ABSTRACT

Two cacao (*Theobroma cacao* L.) plantations reconverted into organic ones with different shade tree density were evaluated in Tabasco, México, in order to understand their effect on the flowering and fruition of cacao trees. The high-density plantation had 233 shade trees and the low-density one 123 trees. The number of open flowers, number of formed and "tied" chillillos (immature fruits), and number of fruits/plant/month were evaluated, as well as the photosynthetically active and intercepted radiation on the cacao tree canopy (RFA, μmol of photons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$). The shade trees intercepted 51 % of the incidental RFA in the low-density plantation, and 62.4 % in the high-density plantation, with 49% and 37.6 % of the total incidental RFA reaching the cacao trees respectively, with significant differences. Of the total incidental RFA on cacao trees, their canopies intercepted 80.9 % in the low-density plantation and 68.5 % in the high-density of shade trees. The number of flowers in the high density shade was higher (164.5 flowers per tree) than in the low density (60.5 flowers per tree). In the plantations being studied, an incidental RFA of 49 % on the cacao canopy favors the production, tying of chillillos and number of mature fruits per tree.

Keywords: cacao, photosynthetically active radiation, flowering, shade.

Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 12, diciembre. 2016. pp: 16-21.

Recibido: julio, 2016. **Aceptado:** noviembre, 2016.



INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo sombra permanente es un sistema agroalimentario tradicional en zonas tropicales, donde las temperaturas presentan poca variabilidad, hay abundante precipitación y baja intensidad lumínica. Los árboles de sombra, son fuente de ingresos económicos que complementan la economía del agricultor y mantienen la biodiversidad del sistema, proveyendo diferentes niveles de sombreado al cacao (Young, 1994; Jaimez *et al.*, 2013), reducen el estrés del árbol de cacao y su manejo regulado es importante para el control integrado de plagas y enfermedades (Beer *et al.*, 1998). Se ha observado que bajo sombra intensa el rebrote foliar y el florecimiento del cacao son menores y con menor frecuencia que bajo sombra rala (poca sombra) o a pleno sol, y que un sombreado excesivo disminuye el rendimiento debido a baja producción fotosintética de los árboles de cacao (Zuidema *et al.*, 2005). Sin embargo, el tiempo de vida de una hoja es mayor en plantas bajo sombra (450 días) que a plena exposición solar (250 días) (Muller *et al.*, 1993). Jaimez *et al.* (2008) indican que la intensidad de luz que reciben las plantas de cacao regulada por la sombra de los árboles, afecta otros factores microclimáticos, tales como temperatura, humedad relativa, evaporación y disponibilidad de agua en el suelo; que influyen en la fertilidad de la plantación al modificar las velocidades de incorporación de hojarasca. La suma de estos factores afecta tanto el crecimiento del cacao como su producción. Pone de manifiesto además, la necesidad de estudios específicos acerca de la cantidad de luz proporcionada por el sombreado, la interceptada por los cultivos y su relación con la producción de frutos, cantidad de semilla y calidad de las misma. Al respecto algunos estudios han mostrado que un sombreado intermedio de 60% parece ser apropiado para la mayoría de los cultivos de cacao, ya que bajo estas condiciones se incrementa el área foliar y se mantiene el rendimiento. Pero a altos niveles de sombra (>80%), el índice de área foliar (IAF) disminuye de nuevo. En Malasia los mejores rendimientos (6126 kg ha⁻¹) presentan niveles de sombreado de 40% a 50% cuando la radiación es alta en los meses más secos (Zuidema *et al.*, 2005; De Almeida y Valle, 2007). En Tabasco, el sistema cacao cuenta con una diversidad de árboles de sombra nativos, entre los que destacan *Samanea saman*, *Diphysa robinoides*, *Guazuma ulmifolia*, *Erythrina* sp., *Colubrina arborescens*, *Musa* sp., *Gliricidia sepium*, y *Cedrela odorata* (Ramírez-Meneses *et al.*, 2014). Esta diversidad permite la conservación de la biodiversidad (Jaimez *et al.*, 2013), producción de madera, frutos comestibles y conservación de numerosas especies forestales (Méndez *et al.*, 2007; Jaimez *et al.*, 2008). Desde los años noventa, una característica de este sistema de producción de cacao, fue la heterogeneidad de las especies de árboles de sombra empleados, su densidad, baja o nula aplicación de insumos y manejo cultural (López, 1987), lo que se reflejó en rendimientos de 490 kg ha⁻¹ (Palma-López y Cisneros, 2000). Actualmente se están realizando nuevas combinaciones agroforestales asociadas al cultivo de cacao en las regiones tropicales, pero el manejo de las mismas se realiza basado en sistemas agroforestales tradicionales, incluyendo la fertilización, y los productores tienen poco conocimiento sobre el diseño y manejo del dosel de sombra según la edad de la plantación y ciclo anual (Silva *et al.*, 2013). El sombreado depende del tamaño de copa, orientación, distribución de ramas, y hojas durante las diferentes épocas del

año. Una alternativa para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del sistema, es la reconversión orgánica, utilizando compostas hechas con materiales del mismo sistema de producción. Con base en lo anterior, se evaluó la intensidad de floración y fructificación de dos plantaciones de cacao en reconversión orgánica en Tabasco, México, en respuesta a diferentes densidades de árboles de sombra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio y diseño experimental: Dos plantaciones de cacao en reconversión del sistema tradicional al orgánico localizadas en la Primera sección (alta densidad) y Segunda Sección (baja densidad) de la Ranchería Río Seco del municipio de Cunduacán, Tabasco, México (93° 20' 42" O, 18° 06' 30" N), y altitud de 15 m. La plantación de alta densidad fue establecida hace 25 años con la variedad Guayaquil presenta una densidad de 233 árboles de sombra ha⁻¹, lo que resulta en 2.68 árboles de cacao por árbol de sombra establecido. La plantación de baja densidad fue establecida hace 35 años con una mezcla de variedades donde predomina la variedad Guayaquil con 123 árboles de sombra ha⁻¹ dando una relación de cinco árboles de cacao por árbol de sombra establecido. Ambas plantaciones presentaron una densidad de 625 plantas de cacao ha⁻¹. La altura de los árboles de cacao en ambas plantaciones, fue de entre 3 y 4 m. En estas plantaciones se realizan dos cosechas por año durante los meses de febrero y septiembre. El manejo agronómico en ambas plantaciones fue realizado según el programa orgánico establecido por el productor que utiliza composta orgánica preparada con materiales

del mismo sistema cacao. Las dos plantaciones se ubican sobre suelos Fluvisoles. En cada plantación se seleccionaron bloques de 28 árboles con cuatro y tres repeticiones, de acuerdo a la superficie de la plantación. Los bloques fueron establecidos en el centro de cada plantación, y abarcaron 1792 m² para la plantación de alta densidad de árboles de sombra y 1344 m² para los de baja densidad. Los datos de temperatura máxima, mínima y promedio, precipitación pluvial y horas brillo durante el periodo de evaluación se obtuvieron de la Estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados, ubicada a 25 km de las plantaciones.

Dinámica de floración, “amarre” de frutos y radiación fotosintéticamente activa incidente:

Para conocer la dinámica de floración y el amarre de frutos, se realizaron muestreos quincenales de julio a diciembre del año 2005 en los árboles de cacao que constituyeron los bloques por plantación. En cada árbol se marcó un 1 m lineal del tronco a partir de los 50 cm del suelo. En esta superficie se contó el número de flores abiertas, el número de chilillos formados (frutos inmaduros), número de chilillos amarrados y número de frutos en madurez fisiológica (“mazorcas”). En las misma fechas, dentro de cada bloque por repetición y plantación en estudio, se realizaron mediciones quincenales de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA, μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con un medidor de RFA de Spectrum Technologies, Inc. Modelo BQM-SUN-5133. Las lecturas de RFA se tomaron en los cuatro puntos cardinales al interior de cada bloque sobre y bajo la copa del árbol de cacao, empezando a las 11:00 a.m. Una lectura al exterior de la plantación fue tomada al inicio y al final de las lecturas de cada bloque al interior de la plantación. Con los datos se calculó la cantidad de RFA incidente y la interceptada por el árbol de cacao de acuerdo a Wolf y Brown (1972). Los datos de la dinámica de floración, fructificación, RFA incidente fueron sometidos a un análisis de varianza bajo un diseño de bloques al azar en arreglo factorial. Los factores fueron dos densidades de árboles de sombra de la plantación (alta y baja densidad), cinco meses de muestreo (agosto-diciembre) y la interacción densidad por mes. Las pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) fueron realizadas, empleando el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período de evaluación las condiciones climáticas variaron. En los meses de agosto y septiembre se presentaron los mayores promedios de horas luz (7.4 y 7.2, respectivamente) disminuyendo a 3.7 h en el mes de diciembre, representando menor presencia de nubes durante los meses de agosto y septiembre comparada con mayor nubosidad y menor radiación incidente en el mes de diciembre. Las temperaturas promedio fueron 26.5 °C y 25.9 °C para agosto y septiembre respectivamente y 19.8 °C para el mes de diciembre. Las mayores precipitaciones se presentan en los meses de septiembre y diciembre con 344 mm y 307 mm respectivamente, la menor precipitación en el mes de octubre con 132 mm.

Estrato arbóreo presente en cada plantación: En la plantación de alta densidad los árboles de sombra más abundantes fueron el cocohite (*Gliciridia sepium* (Jacq.) Steud), el chipilcohite (*Dyophysa robinooides* Benth) y el moté (*Eritrina* sp.) con 64%, 18% y 16% del total, respectivamente (Cuadro 1).

En ambas plantaciones la densidad de árboles de cacao fue la misma (625 árboles ha^{-1}). En la plantación de baja densidad, destacaron el chipilcohite (*Dyophysa robinooides* Benth), el plátano (*Musa* sp.), el moté (*Eritrina*

Cuadro 1. Principales especies de árboles de sombra en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) evaluadas.

Especie	Núm. árboles	%
Plantación alta densidad		
Cocohite (<i>Gliciridia sepium</i> (Jacq.) Steud)	150	64.4
Chipilcohite (<i>Dyophysa robinooides</i> Benth)	42	18.0
Moté (<i>Eritrina</i> sp.)	38	16.3
Macuilis (<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) D.C)	1	0.43
Mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	1	0.43
Guarumo (<i>Cecropia obtusifolia</i>)	1	0.43
Total:	233	100
Plantación baja densidad		
Chipilcohite (<i>Dyophysa robinooides</i> Benth)	36	29.3
Plátano (<i>Musa</i> sp.)	31	25.2
Moté (<i>Eritrina</i> sp.)	27	22.0
Cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.)	10	8.1
Tatúan (<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.)	7	5.7
Cocohite (<i>Gliciridia sepium</i> (Jacq.) Steud)	6	4.9
Macuilis (<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) D.C)	4	3.3
Ceiba (<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn)	1	0.8
Chinin (<i>Persea schiedeana</i>)	1	0.8
Total	123	100

sp.) y el cedro (*Cedrela odorata* L.) con 29%, 25%, 22% y 8% del total respectivamente. Las especies coinciden con las observadas por Ramírez-Meneses *et al.* (2014) al evaluar plantaciones de cacao de 30 y 50 años de edad en la Región de la Chontalpa, Tabasco.

Perfil de transmisión de luz en las plantaciones en estudio: La RFA incidente sobre los árboles de sombra durante agosto a diciembre de 2005 fue $1430.9 \mu\text{mol f m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en promedio. La RFA incidente sobre el árbol de cacao, promedio de agosto a diciembre del 2005, para la plantación de alta densidad fue de $537.9 \mu\text{mol f m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y para la de baja densidad de $701.5 \mu\text{mol f m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 1). Lo anterior significa que los árboles de sombra interceptaron 51% de la RFA incidente en la plantación de baja densidad y 62.4% en la plantación de alta densidad de árboles de sombra, llegando a los árboles de cacao 37.6% y 49% de la RFA total incidente para alta y baja densidad respectivamente. De la RFA total incidente sobre los árboles de cacao, el dosel de éstos interceptó el 80.9% en la plantación de baja densidad y 68.5% en la de alta densidad de árboles de sombra. Esta diferencia de intercepción de RFA por los árboles de sombra en las densidades evaluadas, se debió probablemente a la heterogeneidad entre los estratos arbóreos y densidad de árboles en las mismas. Jaimez *et al.* (2008) indican que el porcentaje de luz que debe llegar al dosel del cacao debe ser de 60% para lograr un óptimo crecimiento y rendimiento de los cultivares. Aunque niveles de sombreado de entre 40% a 50% generan altos rendimientos de cacao en Malasia (Zuidema *et al.*, 2005; De Almeida y Valle, 2007). El nivel de sombreado registrado por el dosel de cacao de la plantación de baja densidad de sombra fue de 49%.

El patrón de incidencia de RFA a los árboles de cacao fue variable entre los meses de evaluación mostrando diferencias entre plantaciones para el mes de agosto y diciembre (Figura 2). En la plantación de baja densidad (bd), la menor cantidad de RFA incidente ($119 \mu\text{mol f m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) sobre el dosel de cacao fue en el mes de agosto. En la plantación de alta densidad (ad), la

menor fue en el mes de diciembre ($83.5 \mu\text{mol f m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Esta diferencia de RFA incidente sobre el árbol de cacao durante los meses del año es resultado del patrón con el patrón de senescencia y renuevo foliar de los árboles de sombra, lo cual requerirá evaluarse en ensayos posteriores. Diferentes estudios han reportado que el sombreado protege de altos niveles de radiación, generando condiciones microclimáticas más apropiadas para la producción (Díaz *et al.*, 2005). En particular un sombreado regulado que permita periodos intermitentes de luz combinados con fuertes intensidades a través del año, minimiza la respuesta a la estacionalidad de los árboles de cacao (De Almeida y Valle, 2007). En el caso de las plantaciones en estudio, las diferencias en la RFA interceptada por los árboles de sombra entre las plantaciones, asociadas éstas a la densidad de los mismos, permitió un paso de luz que indudablemente cambió en cantidad y calidad hacia el siguiente estrato arbóreo que son los árboles de cacao.

En contraste a lo mostrado por De Almeida y Valle (2007), Zuidema *et al.* (2005) indican que la aplicación de sombreado ligero a moderado (50%) reduce los rendimientos de cacao, ya que el área foliar se incrementa produciendo hojas más delgadas (mayor área foliar específica) dando índices de área foliar elevados. En las plantaciones en estudio los árboles de cacao recibieron desde 37% (ad)

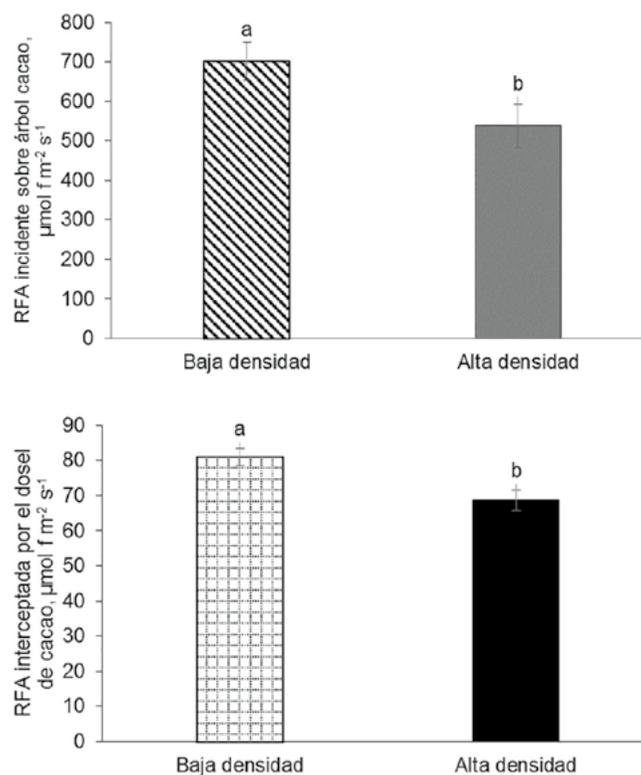


Figura 1. RFA incidente e interceptada por el dosel de los árboles de cacao en plantaciones de alta y baja densidad en Tabasco, México. Letras diferentes indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan \pm error estándar de la media.

hasta 49% (bd) de la RFA total incidente.

Producción de flores:

La producción de flores registró un efecto altamente significativo entre plantaciones y meses de muestreo. La Figura 3 muestra que la producción promedio de flores en los árboles de cacao en la ad, fue mayor (164.5 flores por árbol) que en la bd, (60.5 flores por árbol), registrando en agosto la mayor producción de flores en ambas plantaciones (608.3 en ad, y 204.3 en bd).

Lo anterior, refleja la importancia de la cantidad de RFA incidente sobre el dosel del árbol de cacao, ya que según Alvim *et al.* (1974) la sombra excesiva afecta la fenología del árbol de cacao, al disminuir la floración, la intensidad y frecuencia del rebrote foliar. En este estudio, una RFA incidente de 37.6% sobre el dosel

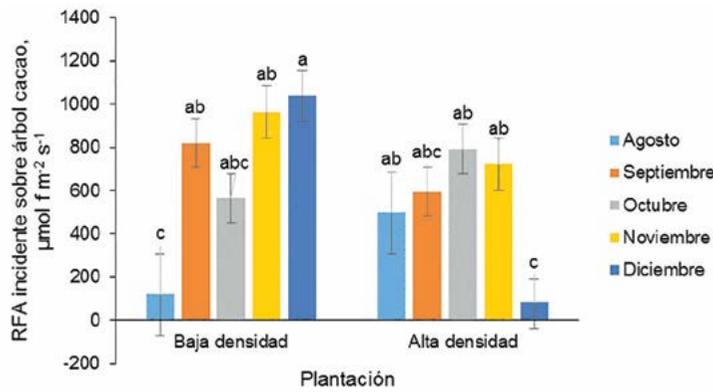


Figura 2. RFA incidente sobre el dosel del cacao (*Theobroma cacao* L.) en plantaciones de alta y baja densidad en Tabasco, México de agosto a diciembre de 2005. Letras diferentes indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar de la media.

de cacao favoreció la producción de flores, pero su efecto fue negativo sobre la producción y amarre de chillillos y finalmente en el número de mazorcas por árbol. Las que se incrementaron con una RFA incidente de 49%. Las condiciones microclimáticas resultado de mayor sombreado pudieron afectar la polinización

y mayor incidencia de plagas y se ha observado que una alta intensidad de polinización en cacao incrementa el porcentaje de aborto de frutos (Groeneveld *et al.*, 2010), debido a competencia entre las diferentes estructuras (Alvim *et al.*, 1974). El rendimiento promedio de cacao seco fue de 414.3 kg ha⁻¹ y 745.6 kg ha⁻¹ para ad y bd respectivamente, considerado alto para esta última, si se compara con los rendimientos promedio obtenidos en plantaciones de cacao bajo sombra que oscila de 300 kg ha⁻¹ a 400 kg ha⁻¹; pero es bajo

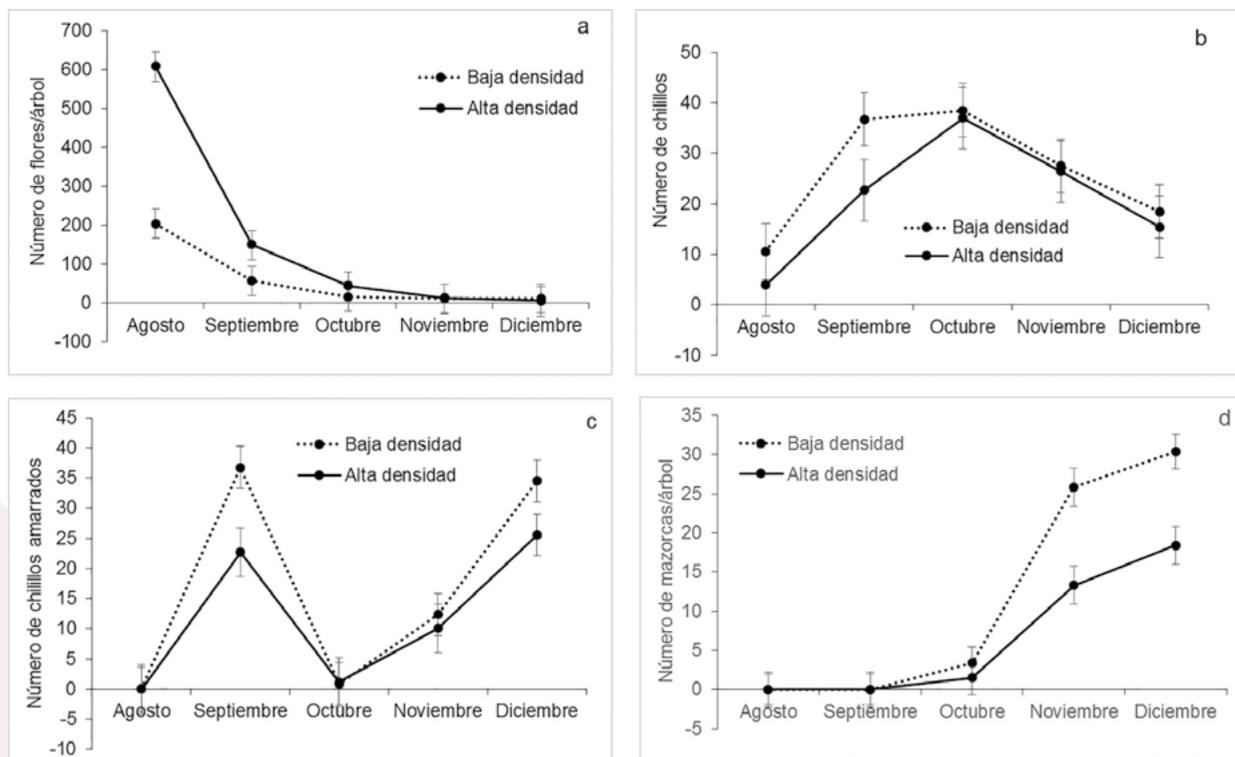


Figura 3. Floración mensual (a), chillillos (b), chillillos amarrados (c) y número de mazorcas (frutos) por árbol (d) de las plantaciones de alta y baja densidad de árboles de sombra en Tabasco, México. Letras diferentes indican diferencia estadística ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan \pm error estándar de la media.

si se comparan con los rendimientos de plantaciones a pleno sol (1.5 a 2 t ha⁻¹).

CONCLUSIONES

Las plantaciones evaluadas presentaron un estrato arbóreo que difiere en tipo y densidad, lo que se reflejó en la cantidad de RFA que incide sobre el dosel de los árboles de cacao. La cantidad de RFA recibida por el dosel de los árboles de cacao tiene un efecto en la intensidad de flores, formación de chillillos y amarre de frutos.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Tabasco A.C., por el apoyo financiero otorgado para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Alvim P. de T., Dantas M.A., Vello F. 1974. Physiological responses of cacao to environmental factors. *Revista Theobroma* 4(4):3-25.
- Beer J., Muschler R., Kass D., Somarriba E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- De Almeida A. A. F., Val R.R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4):425-448.
- Díaz C. A., Aceves N.L.A., Juárez L.J.F., Muñoz M.L. 2005. Eficiencia en la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo diferentes condiciones de sombreado, en el Estado de Tabasco. In: Memoria de la XVIII Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Villahermosa, Tabasco. pp. 404-411.
- Jaimez R.E., Tezara W., Coronel I., Ulrich R. 2008. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 52(2): 253-258.
- Jaimez, R.E., Araque O., Guzman D., Mora A., Espinoza W., Tezara W. 2013. Agroforestry systems of timber species and cacao: survival and growth during the early stages. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* 114(1): 1-11.
- López M.R. 1987. El cacao en Tabasco. Universidad Autónoma Chapingo. Colección Cuadernos Universitarios. Serie Agronomía No. 13. Chapingo, México. 287 p.
- Palma L.D.J., Cisneros D.J. 2000. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. 2ª. Edición. ISPROTAB-Fundación produce Tabasco-Volegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 179 p.
- Ramírez-Meneses A., García-López E., Obrador-Olán J.J., Ruiz-Rosado O., Camacho-Chiu W. 2014. Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 29(3):215-230.
- Silva C., Orozco L., Rayment M., Somarriba E. 2010. Conocimiento local sobre los atributos deseables de los árboles y el manejo del dosel de sombra en los cacaotales de Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* (4) 9: 51-60.
- Wolf D.D., Carson E., Brown H. 1972. Light interception efficiency measurements. *Journal of Agronomy for Education* 1: 40-42.
- Young A.M. 1994. The Chocolate tree. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. USA.
- Zuidema P.A., Leffelaar P.A., Gerritsma W., Mommer L., Anten N.P.R. 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural systems* 84:195-225.

