



**ASOCIACIÓN ENTRE CULTIVOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y VAINILLA (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) EN UN SISTEMA AGROFORESTAL EN COMALCALCO, TABASCO<sup>†</sup>**

**[ASSOCIATION BETWEEN COCOA (*Theobroma cacao* L.) AND VANILLA (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) CROPS IN AN AGROFORESTRY SYSTEM IN COMALCALCO, TABASCO]**

**Sergio Alexander López-Juárez<sup>1</sup>, Enrique Hipólito-Romero<sup>2\*</sup>, Carlos Roberto Cerdán-Cabrera<sup>1</sup>, Gustavo Celestino Ortiz-Ceballos<sup>1</sup> and Delfino Reyes-López<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Veracruzana: Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, 91090. Xalapa Enríquez, Veracruz. México. Email: sealex.lj@gmail.com, ehipolito@uv.mx, ccerdan@uv.mx, gusortiz@uv.mx

<sup>2</sup>Universidad Veracruzana: Centro de Eco Alfabetización y Diálogo de Saberes. Avenida de las Culturas Veracruzanos s/n, Zona Universitaria, Campus USBI, Colonia Emiliano Zapata. 91060. Xalapa Enríquez, Veracruz, México;

<sup>3</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla: Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Avenida Universidad S/N. Junta Auxiliar de San Juan Acateno. 73695. Teziutlán, Puebla. Email: delfino\_reyes2001@yahoo.com.mx

\*Corresponding author

### RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) y la vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) son algunos de los cultivos de suma importancia económica, social y cultural para las familias del trópico mexicano. Sin embargo, la producción de estos cultivos en los últimos años ha disminuido alarmantemente. Ante esta situación, determinar la factibilidad del cultivo combinado de ambas especies, puede representar una alternativa para mejorar la rentabilidad de los productores. En el presente trabajo se proponen alternativas de producción con distintos tratamientos tales de cacao y vainilla. Se evaluaron 60 plantas de cacao y 80 esquejes de vainilla, divididos en cinco tratamientos: “cacao sin interacción con vainilla” (Tc), “vainilla sobre cacao” (Vp/Tc), “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de un metro” (Tc-Vp1m), “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de dos metros” (Tc-Vp2m) y “vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao” (Vp), con cinco repeticiones cada tratamiento. Para los árboles de cacao se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP<sub>1.5</sub>), la altura total del árbol, altura del fuste, diámetro y área de la copa; utilizando estos mismos parámetros para caracterizar la especie arbórea de acompañamiento. Posteriormente, se contabilizó la cantidad de frutos del cacao, antes y después de establecer el cultivo de vainilla en el sistema agroforestal. Para dicha especie se registró la longitud del esqueje (LE), número de nudos (NN), número de hojas (NH), grosor del esqueje (Gr), número de brotes (NB) y longitud del brote (LB). Las mediciones se realizaron en cuatro ocasiones con un intervalo de 60 días iniciando al momento de establecer la vainilla. Los resultados mostraron que no existe diferencias estadísticas significativas en la producción del cacao. En contraparte, las variables de desarrollo vegetativo de la vainilla mostraron mejor adaptación en el tratamiento vainilla sobre cacao (Vp/Tc) encontrándose diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) en LE, NN, NH y LB con relación a los demás tratamientos. Se concluye que la producción de cacao no es afectada por tutorar a la vainilla; además, el tutor cacao proporcionó condiciones adecuadas para un buen desarrollo vegetativo de la vainilla.

**Palabras clave:** Diversificación; dosel arbóreo; desarrollo vegetativo; cultivos perennes.

### SUMMARY

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) and vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) are considered vegetal crops with great economical, social and cultural importance for the families of Mexican tropics. However, in recent years the production of these crops has considerably decreased. Faced with this situation, determining the feasibility of combined cultivation of both species may represent an alternative to improve farmers' profitability. Through this work, farming alternatives are proposed with different treatments such as cocoa and vanilla. We evaluated 60 cocoa plants and 80 vanilla cuttings, divided into five treatments: cocoa and vanilla with no-interaction (Tc), vanilla on cocoa" (Vp/Tc), cocoa and vanilla using an inert tutor at a distance of one meter (Tc-Vp1m), cocoa and vanilla using an inert tutor at a distance of two meters "(Tc-Vp2m) and; vanilla using an inert tutor without cocoa interaction (Vp); each with five repetitions. For cocoa trees, Diameter at Breast Height (DBD<sub>1.5</sub>), total tree height, stem height, diameter and crown

<sup>†</sup> Submitted May 25, 2018 – Accepted June 14, 2019. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.  
ISSN: 1870-0462

area were recorded. The same parameters were used to characterize associated trees. Subsequently, before and after establishing the vanilla crop in the agroforestry system, the amount of cocoa fruits was registered. Also, length and thickness of cuttings, number and length of sprouts (LB) and number of knots and leaves' length were measured for this plant. Measurements were performed four times with an interval of 60 days starting at the time of establishing the vanilla. Non-significant statistical differences in cocoa production were observed. In contrast, the vegetative development variables of vanilla showed better adaptation regarding the vanilla treatment on cocoa (Vp/Tc), showing significant statistical differences ( $P \leq 0,05$ ) when comparing LE, NN, NH and LB treatments. It is concluded that cocoa production is not affected when tutoring vanilla. In addition, the cocoa tutor provided good conditions for optimal vegetative development of vanilla.

**Keywords:** Diversification; canopy; vegetative development; perennial crops.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales (SAF) son una alternativa para la producción agrícola sostenible en los trópicos húmedos (Gardner *et al.*, 2009; Luedeling *et al.*, 2014). Estos sistemas se caracterizan por la optimización de la producción en una misma unidad de suelo (Utomo *et al.*, 2016). Además, la productividad tiende a ser más estable en este modelo de producción debido a una alta diversidad de plantas con alto potencial en la producción de madera, leña, frutas, forrajes, plantas ornamentales, etc., propiciando que las familias tengan mayor resiliencia a los cambios abruptos de los mercados (Sasson, 2012).

Uno de los SAF más representativos en el trópico húmedo es el cacao (*Theobroma cacao* L.), ya que desempeña un papel importante en el sustento de 40 a 50 millones de personas a nivel mundial (Cocoa Market Update, 2014; Vaast y Somarriba, 2014). México enfrenta problemas en la producción debido a la disminución de los terrenos agrícolas disponibles en las principales regiones productoras en los últimos años (SIAP, 2016). Debido a factores internos y externos de índole diversa, entre las que destacan la baja productividad y la rentabilidad del cultivo; esta actividad resulta insostenible para los medios de vida para los hogares productores (Zequeira, 2012). Por ello, es imprescindible establecer estrategias para aumentar nuevas áreas de cacao y recuperar este cultivo (Espinoza-García *et al.*, 2015). Para hacer frente a este desafío, una opción es la combinación del cacao con otros cultivos para obtener mayores ventajas económicas, sociales y ambientales (Jose, 2009; Hipólito *et al.*, 2014). Además de la diversificación productiva, es sugerible implementar técnicas agronómicas que han demostrado resultados positivos en la conservación del suelo y en el manejo de la biodiversidad en los diferentes estratos del SAF (ICCO, 2007; Harvey *et al.*, 2008).

Otra de la especie más representativa de nuestro país, desde el punto de vista social, cultural y económico, es la vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). El cultivo de esta especie requiere condiciones agroecológicas particulares que condicionan su desarrollo bajo la interacción con otras especies. A pesar de la alta demanda y valor comercial que siempre

ha tenido la vainilla a nivel internacional, en los últimos años, este cultivo dejó de ser una fuente de ingresos para las familias productoras del trópico mexicano (Santillán *et al.*, 2018). Entre los principales problemas que afectan la baja productividad y rentabilidad de los sistemas vainilleros destacan el incremento en plagas y enfermedades, la falta de innovación tecnológica y la imposibilidad de los hogares productores para ser competitivos ante la demanda del mercado que exigen mayor cantidad y calidad del producto (Reyes *et al.*, 2008; Barrera-Rodríguez *et al.*, 2009; Hipólito-Romero, 2010). Los cuatro principales sistemas de producción que se practican en México son: en acahual, en pichoco (*Eritrina* sp.), bajo naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) y en invernaderos malla sombra. De éstos, el sistema que resulta más eficiente en términos de biodiversidad asociada y de consumo energético es cuando la vainilla se encuentra bajo acahual (Bautista, 2014).

La vainilla tiene diversos productos sintéticos a precios bajos, con aroma y sabor similares (Soto-Arenas, 2006); en consecuencia, a finales de la década de los años 50, el precio de la vainilla comenzó a disminuir de manera significativa, propiciando el abandono y la caída de la producción del cultivo (Gamboa-Gaitán, 2014). Este trabajo tuvo como objetivos a) estimar el efecto del crecimiento de las plantas de vainilla en una etapa inicial sobre la productividad en los árboles de cacao y b) caracterizar el desarrollo vegetativo de los esquejes de vainilla tutorado por árboles de cacao y por tutores inertes en un sistema agroforestal en el estado de Tabasco, con la intención de explorar nuevas alternativas para mejorar la productividad y rentabilidad de ambos cultivos en nuestro país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio de estudio

El área de estudio se localiza en la finca Los Chocos, situada en la rancharía Ignacio Zaragoza Segunda Sección perteneciente al municipio de Comalcalco, Tabasco, México (Figura 1). Este municipio forma parte de la región de la Chontalpa; principal zona productora de cacao en México. Geográficamente, el sitio de estudio se encuentra entre las coordenadas 18°19'48.88" norte y 93°20'38.19" oeste.

El clima predominante es cálido húmedo, con una altitud de 14 msnm, con precipitación y temperatura

media anual de 1,850 mm y 26.8 °C, respectivamente (Figura 2).

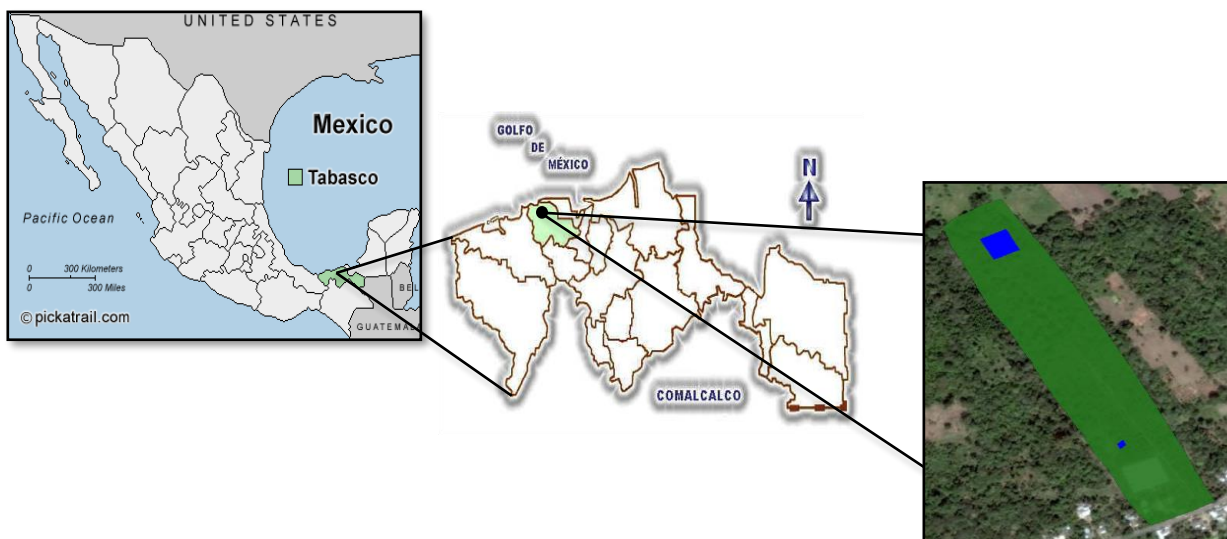


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

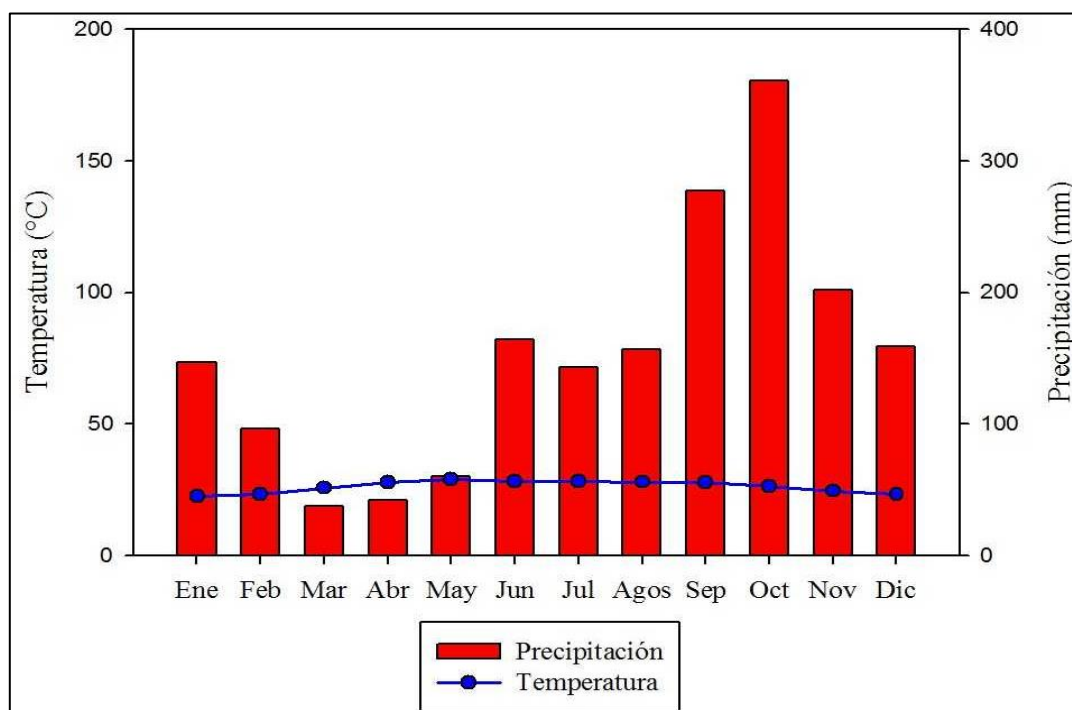


Figura 2. Climograma del área de estudio. Promedio de temperatura y precipitación correspondientes al periodo 1951-2010. Datos tomados de las normales climatológicas de la estación 00027009 de Comalcalco, Tabasco.

**Material vegetativo**

Este trabajo fue desarrollado en condiciones de campo iniciando en octubre del 2016 con la siembra de los tutores inertes dentro de las parcelas experimentales. El material vegetal utilizado para el cacao fue *Theobroma cacao* cv. Calabacillo; para el caso de la vainilla, se dispuso de la especie *Vanilla planifolia*, misma que fue facilitada por el Banco de

Germoplasma de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en enero del 2017.

**Tutores de la vainilla**

Se utilizaron tutores vivos e inertes. Como tutores vivos se ocuparon 15 árboles de cacao, mientras que para los tutores inertes se utilizaron 45 individuos hechos de cocoite [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex

Walp.] con las siguientes medidas; 180 cm de alto por 30 cm de diámetro, se enterraron 30 cm para soportar el peso de la vainilla.

### Caracterización de las parcelas experimentales

Se establecieron dos parcelas experimentales dentro de la finca Los Chocos. La primera con una superficie de 3,000.00 m<sup>2</sup> cubierta por un SAF-cacao de 45 años; los árboles de cacao se encontraban sembrados a 5.00 m × 5.00 m, siendo *Erythrina poeppigiana* (Walp) O. F. Cook el único árbol de sombra. Cada árbol de cacao fue etiquetado en un lugar visible. La segunda parcela tiene una superficie de 50.00 m<sup>2</sup>, cubierta por árboles de cedro (*Cedrela odorata* L.) con 8 años sembrados a 3.00 m × 3.00 m; en esta parcela se ubicó el tratamiento "vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao" (Vp). En ambas parcelas se realizó la eliminación de malezas para, posteriormente, colocar los tutores inertes.

### Siembra de la vainilla

La siembra se realizó en la última semana del mes de enero del 2017. Cinco días antes de la siembra, los esquejes fueron desinfectados ocupando el fungicida Promyl® con el principio activo Benomilo (5 g l<sup>-1</sup>, Promotora Técnica Industrial, S. A. de C. V.) para prevenir la pudrición basal. Posteriormente, se establecieron dos parcelas bajo un diseño experimental

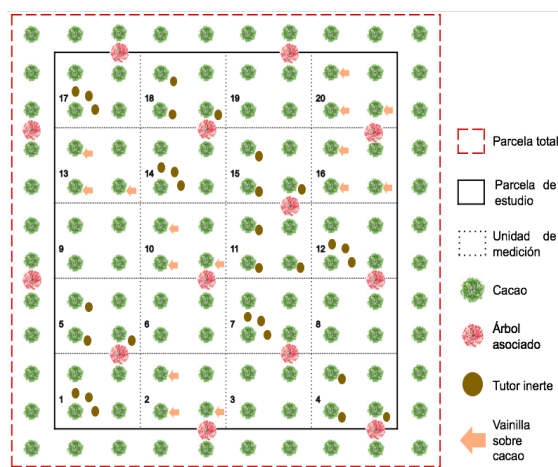
completamente al azar distribuyendo la cantidad de esquejes de vainilla entre los tutores disponibles. La longitud promedio de los esquejes de la vainilla fue de 60-70 cm, plantando tres yemas de cada esqueje para luego ser cubiertos con materia orgánica disponible *in situ*.

### Diseño de tratamientos

Se plantearon cinco tratamientos, los cuales fueron: "cacao sin interacción con vainilla" (Tc), "vainilla sobre cacao" (Vp/Tc), "cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de un metro" (Tc-Vp1m), "cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de dos metros" (Tc-Vp2m) y "vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao" (Vp), utilizando un diseño completamente al azar con cinco repeticiones.

La parcela A se dividió en 20 subparcelas (Figura 3A), cada una de ellas conformadas por cuatro árboles de cacao y tres tutores inertes para los tratamientos Tc-Vp1m y Tc-Vp2m; mientras que para los tratamientos Tc y Vp/Tc, solamente se conformaron por cuatro árboles de cacao (Tabla 1). En la parcela B, se colocaron tutores inertes a una distancia de 1.50 m × 1.50 m bajo la copa arbórea de cedro (*Cedrela odorata* L.); en esta parcela se ubicó el tratamiento "vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao" (Vp) (Figura 3B).

3A



3B

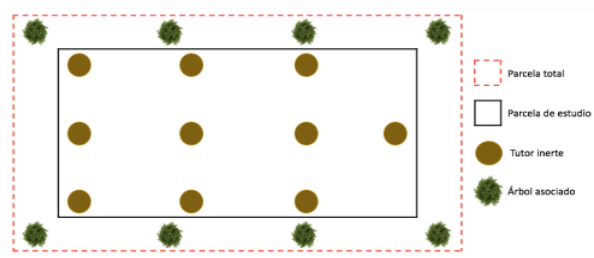


Figura 3. A. Tratamientos establecidos en SAF-cacao, así como la numeración secuencial de las subparcelas (repeticiones). B. Tratamiento "vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao", en la finca los Chocos, Ignacio Zaragoza Segunda Sección, Comalcalco, Tabasco.

Tabla 1. Distribución de los tratamientos en la parcela A en la finca Los Chocos, Ignacio Zaragoza Segunda Sección, Comalcalco, Tabasco.

Tratamientos	Número de subparcelas
Cacao sin interacción con vainilla (Tc)	3, 6, 8, 9 y 19
Vainilla sobre cacao (Vp/Tc)	2, 10, 13, 16 y 20
Cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de un metro (Tc-Vp1m)	4, 5, 11, 15 y 18
Cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de dos metros (Tc-Vp2m)	1, 7, 12, 14 y 17

### Manejo y cuidado de las plantas

La investigación inició en el mes de octubre del 2016 y finalizó en noviembre del 2017. Durante este periodo, se aplicaron prácticas culturales: deshierbe del terreno, poda de los árboles de cacao, conducción y sostén de los esquejes de vainilla; así como el riego de ambos cultivos (2 veces por semana, 3.00 l planta<sup>-1</sup>). Al momento de que el primer brote creció, se fue sujetando al tutor con hilo rafia; esto con el objetivo de guiar el crecimiento y facilitar el manejo.

### VARIABLES MEDIDAS

#### Análisis físico-químico del suelo de las parcelas

Para las variables físicas del suelo para ambas parcelas, se realizó una muestra compuesta de 1.00 kg a partir de seis submuestras tomadas mediante un recorrido en zig-zag. Las variables químicas que se determinaron fueron el pH (método potenciómetro, relación suelo-agua 1:2), conductividad eléctrica, materia orgánica (MO, método Walkley y Black), nitrógeno (N, método Micro-Kjeldahl), fósforo (P, método Bray) y potasio (K, método de acetato de amonio) siguiendo la metodología de la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000).

#### Simulación del sistema agroforestal cacao

En una siguiente etapa se evaluaron las siguientes variables dasométricas a cada uno de los árboles del experimento: diámetro a la altura del pecho (DAP<sub>1.5</sub>), altura total del árbol, altura de la copa, diámetro y área de la copa. El DAP, se midió con una cinta métrica; la altura total y la altura de la copa, se calcularon con una vara graduada de 5.50 m; el diámetro de la copa se midió utilizando una cinta diamétrica, promediando dos mediciones perpendiculares a la copa sobre el suelo, las mediciones fueron de norte a sur y de este a oeste.

Finalmente, el área de la copa se calculó a partir de la fórmula del círculo, cuyo diámetro (D) es el promedio de la copa (Álvarez-Carrillo *et al.*, 2012; Durán-Bautista *et al.*, 2015; Andrade y Segura, 2016).

$$Dc = \frac{\sum_{i=1}^n Dci}{n} \quad (1)$$

$$AC = \frac{\pi}{4} \times Dc^2 \quad (2)$$

En dónde:

Dc = diámetro promedio de la copa (m)  
 AC = área de la copa del árbol de cacao (m<sup>2</sup>)  
 $\pi$  = valor constante = 3.1416

Con las variables dasométricas de los árboles de cacao y de la especie asociada, se modeló la disposición espacial del SAF-cacao y se determinó la cantidad de sombra existente en el sistema ocupando los simuladores SexI-FS® y ShadeMotion 3.0®, respectivamente (Quesada *et al.*, 2007; Harja y Vincent, 2008).

#### Conteo de frutos en el tallo de cacao

Se registró la producción por cada árbol del experimento en forma anual. El conteo se llevó a cabo en noviembre, mes con mayor producción de frutos. Con los datos obtenidos se comparó la cantidad de frutos para los años 2016 y 2017, antes y después del establecimiento de la vainilla en el experimento, respectivamente.

#### Sobrevivencia de la vainilla

60 días después de plantarse los esquejes de vainilla, se determinó el porcentaje de sobrevivencia en el experimento, utilizando la siguiente fórmula:

$$\%PS = \frac{\text{Cantidad de plantas vivas}}{\text{Cantidad de plantas sembradas}} \times 100 \quad (3)$$

En dónde:

%PS = Porcentaje de sobrevivencia de vainilla.

De acuerdo con los datos anteriores, se homogeneizó las unidades experimentales de esquejes en todos los tratamientos (20 trat<sup>-1</sup>), excepto en el tratamiento “cacao sin interacción con vainilla” (Tc).

## Desarrollo vegetativo de la vainilla

Para los tratamientos con vainilla, el desarrollo vegetativo de la planta fue evaluado cada 60 días iniciando al momento de establecer el experimento (Kelso-Bucio *et al.*, 2012). Las variables evaluadas fueron: longitud del esqueje (LE), número de nudos (NN), número de hojas (NH), grosor del esqueje (Gr), número de brotes (NB) y longitud del brote (LB). Para las variables que así lo demandaban se utilizó una cinta métrica. Todas las variables fueron registradas en una hoja de campo para posteriormente construir la base de datos.

### Análisis estadístico

Los tratamientos cacao-vainilla se establecieron con base en un diseño completamente al azar. En la parcela A se establecieron los 4 tratamientos de cacao, divididos en 5 subparcelas, en cada una de ellas se consideraron 3 árboles (N = 60). Asimismo, en la parcela A se ubicaron 3 de los 4 de los tratamientos de vainilla, los cuales se dividieron en 5 subparcelas, con 4 plantas de vainilla por subparcela; mientras que en la parcela B se estableció el tratamiento "vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao", con 20 plantas de vainilla, en total N = 80.

Se realizaron modelos lineales generalizados mixtos (GLMM; Pinheiro y Bates, 2000) para evaluar diferencias entre tratamientos, con base en los frutos cacao; sobrevivencia y desarrollo vegetativo de la vainilla. Los tratamientos se consideraron como factores fijos, para los factores aleatorios se consideraron los interceptos de las subparcelas. En todos los modelos se asumió una distribución Poisson. Se realizaron pruebas post hoc de Tukey para determinar diferencias entre tratamientos. Todos los análisis estadísticos se realizaron con R versión 3.1.1 (R, Development Core Team, 2017) utilizando la librería lme4 (Bates *et al.*, 2015).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis físico-químico del suelo de las parcelas

De acuerdo con las características físicas y químicas del suelo, la parcela A presentó una textura franca arcillosa con porcentaje de materia orgánica (MO) alta; así mismo, la parcela B presentó una textura franca con porcentaje de materia orgánica baja. Para ambas parcelas se presentó un potencial de hidrogeno (pH) adecuado para los cultivos de cacao y vainilla. Respecto a la conductividad eléctrica (CE), se observa que ambas parcelas tienen salinidad baja. El nitrógeno (N) fue el único elemento que presentó rango de fertilidad media para la parcela A, comparado con la baja fertilidad de la parcela B. En contraparte, los elementos fosforo (P) y potasio (K) presentaron baja fertilidad para ambas parcelas (Tabla 2).

La textura no está influenciada por el manejo agronómico del sistema, este parámetro posee propiedades inherentes al suelo. Sin embargo, este factor resulta importante porque incide directamente en porosidad, retención de agua, presencia o ausencia de nutrientes y, por ende, en los factores biológicos de la rizosfera. La parcela A (SAF-cacao) posee un suelo más estable respecto a la parcela B (plantación de cedro); ya que una materia orgánica mayor al 2% dentro de una plantación, es considerada como un suelo sano para una mejor producción de cultivos (Maldonado *et al.*, 2006). El porcentaje alto de la materia orgánica en la parcela A, se debe al aporte de la hojarasca por la asociación de árboles cacao y eritrina (*Erythrina poeppigiana*); además de los residuos por la poda de los árboles de cacao. Por ello, los SAF promueven un mayor contenido de materia orgánica en el suelo. Por su parte, la parcela B al poseer únicamente una especie (*Cedrela odorata*), no produce la cantidad suficiente de materia orgánica para proteger el suelo; encontrándose por ello una menor cantidad de nitrógeno accesible para los organismos.

Tabla 2. Análisis físicos y químicos del suelo para las parcelas A y B ubicadas en la finca Los Chocos, Ignacio Zaragoza Segunda Sección, Comalcalco, Tabasco, México.

Parámetros evaluados	Unidad de medición	Parcela A	Concentración	Parcela B	Concentración
Textura		Franca arcillosa		Franca	
Arena	%	36		47	
Arcilla	%	34		20	
Limo	%	30		33	
MO	%	2.68	Alto	1.64	Bajo
pH		5.78		5.56	
CE	dS m <sup>-1</sup>	0.46	No salino	0.28	No salino
N	ppm	22.69	Medio	7.52	Bajo
P	ppm	11.41	Bajo	11.60	Bajo
K	ppm	131.08	Bajo	88.89	Bajo

MO = materia orgánica, CE = Conductividad eléctrica, N = nitrógeno, P = fosforo, K = potasio.

La parcela A presenta una mayor concentración de nitrógeno (N) respecto a la parcela B, esto podría ser efecto por la presencia de la *E. poeppigiana* que es capaz de fijar N atmosférico y contribuir a las reservas de este elemento en el sistema (Rice y Greenberg, 2000). De acuerdo a lo anterior, el sistema agroforestal asociado con árboles leguminosos es importante debido a que mantiene una mayor cantidad de N, respecto a otros sistemas anuales de producción (Meléndez, 1997). En mismo sentido, Schroth (2003) hace referencia que los SAF reducen la pérdida de nutrientes y, por el contrario, producen y reciclan más biomasa que la mayoría de otros agroecosistemas, favoreciendo la fertilidad del suelo.

La baja concentración del fósforo (P) puede ser efecto de la poca o nula fertilidad sintética que se presentan en ambas parcelas. Mismo resultado se encontró en suelos de sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica, reportando bajos contenidos de P por falta de fertilización en el sistema (Fassbender *et al.*, 1991). En

consecuencia, la baja concentración del potasio (K) se debe principalmente por el bajo manejo agronómico de los árboles (poda y raleo). Una cantidad considerable de este elemento es almacenada en los tallos de los árboles y no se reincorporan al suelo, por eso, se convierte en un factor limitante para la productividad del cultivo (Beer, 1988). Ante lo anterior expuesto, la fertilidad y el manejo agronómico deben estar presente en las plantaciones de cacao para mejorar los suelos.

#### Simulación del sistema agroforestal cacao

Se tomaron datos de 109 árboles de cacao y de 13 árboles de *Erythrina poeppigiana*, dispersas de manera aleatoria en 3,000.00 m<sup>2</sup>. Con los datos de ambas especies, se caracterizó el SAF-cacao ocupando los simuladores SEI-FS y ShadeMotion (Figuras 4 y 5), en ellas se observan el arreglo espacial de los árboles dentro del SAF-cacao y la cantidad de sombra, respectivamente.

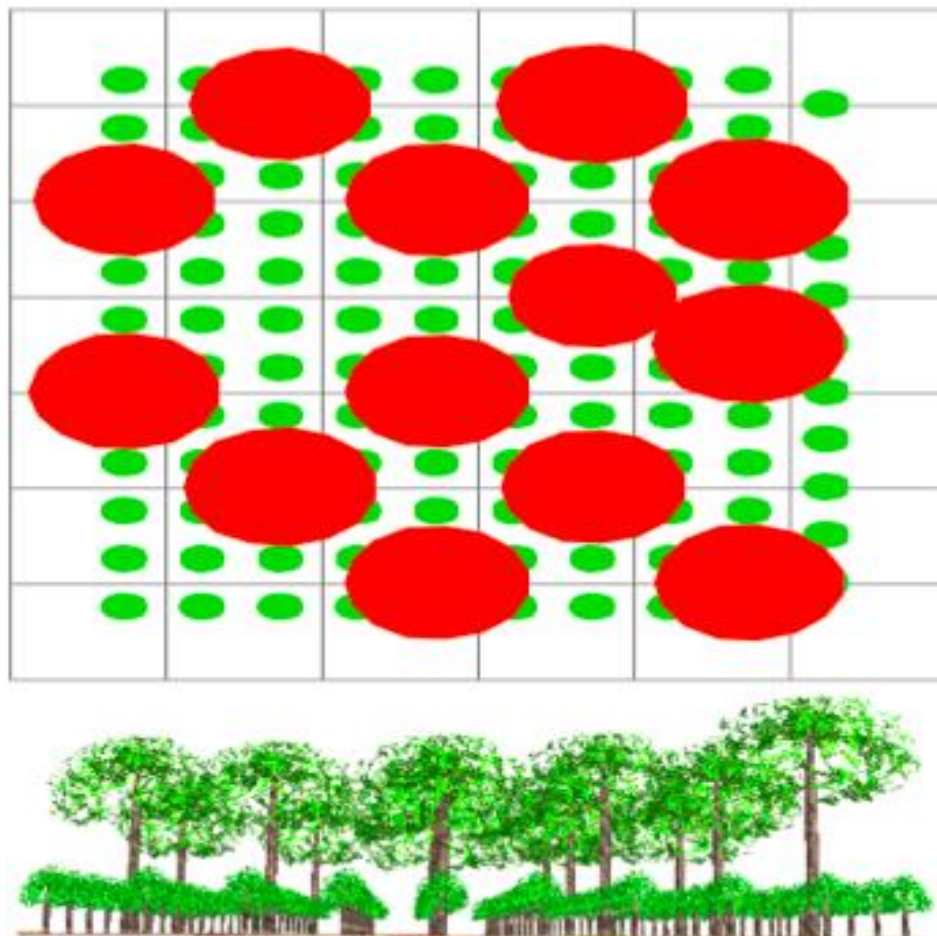


Figura 4. Arreglo espacial de los árboles cacao y *Erythrina poeppigiana* en el SAF de la finca Los Chocos, Comalcalco, Tabasco.

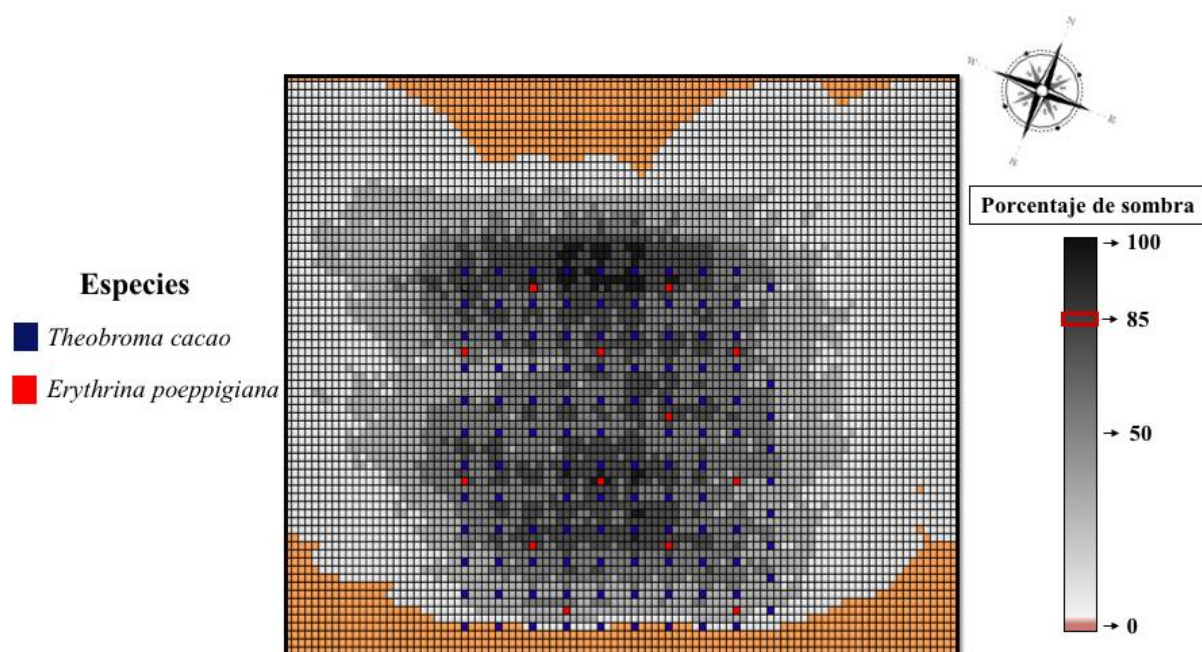


Figura 5. Estimación de la sombra producida en un día dentro del SAF-cacao de la finca Los Chocos, Comalcalco, Tabasco. Cada cuadro representa 1 m<sup>2</sup> de terreno, total de superficie de 3,000 m<sup>2</sup>.

En la figura 4 se observa el arreglo espacial de los árboles de cacao y de la *Erythrina poeppigiana* dentro del sistema agroforestal. El árbol asociado al cacao, por ser una especie grande en dimensión, solamente se registraron 13 individuos plantados estratégicamente para proporcionar sombra al cacao. Rice y Greenberg (2000) mencionan que las especies leguminosas como la *Erythrina* sp., *Gliricidia sepium*, *Inga* sp. y *Cassia* sp., comprenden la “columna vertebral” del sombrío en el cacao. No obstante, se reporta que el cacao también se ha cultivado bajo diferentes estratos arbóreos con especies perennes; así como con especies frutales (Beer *et al.*, 1998; Orozco *et al.*, 2008; Deheuvels *et al.*, 2012; Koko *et al.*, 2013). Ante esto, diversos autores reportan las interacciones existentes entre las especies de sombra con el cacao, especialmente en relación con las condiciones climáticas (radiación solar, precipitación, viento, humedad relativa, etc.), suelo (materia orgánica, nutrientes, agua), fitosanidad (plagas y enfermedades) e interacciones positivas como negativas (simbiosis, alelopatía, parasitismo, etc.) (Beer *et al.*, 1990; Zuidema *et al.*, 2005; Saquicela *et al.*, 2017). Sin embargo, la especie presente en el SAF-cacao (parcela A) contribuye con hábitat para la conservación de la fauna asociada e incrementa la seguridad alimentaria de las familias del trópico (Ofori *et al.*, 2014).

La *Erythrina poeppigiana* posee la capacidad de fijar nitrógeno (N) gracias a los nódulos desarrollados en las raíces y a la descomposición de la hojarasca; por lo tanto, la fertilización dentro de los SAF puede ser compensada por los árboles de esta especie (Russo, 1984; Beer *et al.*, 1990). La deficiencia de N dentro de

los SAF puede provocar aborto de frutos, por ello la importancia de utilizar especies leguminosas al sistema para mejorar los rendimientos del cacao. Pero, debido a las excesivas dimensiones que posee la *Erythrina poeppigiana*, los cacaotales de Tabasco se están asociando con especies de *Gliricidia sepium*, *Cedrela odorata*, *Samanea saman* (Jacq.) Merr. y *Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg (García, 1983; Córdova-Ávalos *et al.*, 2001).

El porcentaje de cobertura arbórea para el SAF-cacao fue del 85% en un día soleado (Figura 5). Esto debido a que los árboles de cacao, así como de los árboles de sombra (*Erythrina poeppigiana*), poseían una edad avanzada y que en los últimos años no habían tenido ningún tipo de manejo agronómico (raleo, poda, etc.), propiciando que tuviesen altas dimensiones en DAP<sub>1.5</sub>, altura total, diámetro y área de la copa. La poca porosidad de la copa (*Erythrina poeppigiana*) no permitió mucha penetración de los rayos del sol propiciando que éstos lleguen en poca proporción al dosel del cacao. Por ello, con el apoyo de estos simuladores se pueden programar actividades para el manejo adecuado del sombrío en un SAF; además, se pueden identificar qué tipo de podas realizar a la plantación (Álvarez-Carillo *et al.*, 2012; Suárez-Salazar *et al.*, 2018).

De igual manera, se muestran los espacios (color oscuro más intenso) donde el porcentaje de sombra fue mayor al promedio de la parcela (Figura 5). Esto es debido al follaje excedente en los árboles de cacao, así como de la especie asociada al cultivo. Este tipo de sistema hace hincapié al poco manejo que se había



realizado por parte del productor; por lo tanto, para disminuir el exceso de sombra es recomendable realizar podas y raleos, y de esta forma prevenir plagas y enfermedades que proliferan gracias al microclima que se genera abajo del dosel vegetal (Opoku *et al.*, 2002). La cantidad de sombra repercute en la asimilación de CO<sub>2</sub>. Cuando la sombra sea mayor, la asimilación de CO<sub>2</sub> será menor teniendo efecto en la poca producción del cacao (Almeida *et al.*, 2014). Pero, a poca cantidad de sombra las plantas podrán presentar estrés aumentando la respiración foliar repercutiendo directamente en el tiempo de vida de las hojas, necesarias para realizar la fotosíntesis y producción del cultivo (Muller *et al.*, 1993; Jaimez *et al.*, 2008). Ante esto, Alex-Alan y Valle (2008) mencionan que la producción del cacao está determinada por la intercepción de luz y la fotosíntesis. Sin embargo, se tienen plantaciones de cacao expuestas 100% al sol, esta forma intensiva de producción es beneficiosa en el corto-mediano plazo ya que el rendimiento es alto comparado con un sistema heterogéneo, pero aumenta los costos de producción por la reposición de nutrientes, mayor demanda de agua, además que las familias económicamente dependerán de un solo cultivo (Ruf y Schroth, 2004; Clough *et al.*, 2009; Andres *et al.*, 2016). Por consiguiente, para no tener gastos excesivos dentro del SAF-cacao a consecuencia de mucha y/o poca sombra, Jaimez *et al.*, (2007) recomiendan una sombra que permita la entrada del 40-50% de luz al dosel del cacao para sostener la producción del cacao (etapa madura del árbol).

Es necesario tener en cuenta que el estudio de un SAF es complejo por los diversos componentes que se relacionan en ella: diversidad de especies, estructura arbórea y espacial, disponibilidad de luz, entre otros (Suárez-Salazar *et al.*, 2018). Por tal motivo, es recomendable tener conocimientos de qué especies arbóreas son las más adecuadas para asociarlas con el cacao; además, estas especies deberán ser aprovechadas desde una perspectiva ecológica y económica, sin poner en riesgo la producción del cultivo.

### Conteo de frutos en el tallo del cacao

De acuerdo con el análisis realizado a la cantidad de frutos de cacao, antes y después de sembrarse la vainilla en los diferentes tratamientos, no se registró diferencias estadísticas significativas entre estos ( $\chi^2 = 1.16$ ;  $P = 0.76$ ). Sin embargo, el tratamiento que presentó mayor promedio fue Tc-Vp2m con 35.20 y 39.00 frutos para los años 2016 y 2017, respectivamente; mientras la menor cantidad de frutos se registró en Vp/Tc con 30.40 y 36.55 para los mismos

años (Tabla 3). La cantidad de frutos para el año 2017 se incrementó para todos los tratamientos debido a que en meses anteriores se realizó una poda en los árboles de cacao, repercutiendo positivamente en el aumento de la producción.

Como la vainilla se encuentra en la fase inicial del crecimiento, que representa aproximadamente el 10% del ciclo del cultivo (Kelso-Bucio *et al.*, 2012), no presentó efectos negativos en la producción de frutos de cacao. Empero, debido que el cacao es una especie cauliflora se espera que, a largo plazo, la vainilla tienda a presentar efectos negativos en la floración y fructificación en el tratamiento Vp/Tc, no así para los tratamientos en donde la vainilla se encuentra en tutor diferente al cacao.

La productividad en árboles de cacao tiende a aumentar con la manipulación de los factores que determinan su crecimiento y desarrollo; como es la poda, raleo, cuidado de los árboles de sombra y actividades que conllevan a las buenas prácticas. Al mismo tiempo, los elementos climáticos (precipitación, radiación solar, temperatura, etc.) repercuten en el rendimiento ecofisiológico y la producción del cacao (Jezeer *et al.*, 2017). Ante esto, Alvim *et al.*, (1981) mencionan que a pesar de que las fluctuaciones estacionales del trópico no son tan fuertes, si hay diferencia en la cantidad de frutos debido a que los árboles de cacao entran en un reposo vegetativo disminuyendo la producción de frutos. Debido a estas pocas fluctuaciones, el cacao tiene capacidad de fructificar durante todo el año, presentando picos de producción durante dos o tres meses del año (Córdova-Ávalos *et al.*, 2001). Por tal motivo, es necesario conocer los estados de desarrollo fenológicos del cultivo para comprender el crecimiento y desarrollo de este, así como de la capacidad de producción con el manejo adecuado del SAF.

### Sobrevivencia de la vainilla

La condición climática juega un rol importante en la sobrevivencia de todos los cultivos, por tal motivo, la vainilla igual demanda ambientes idóneos para su adaptación. En consecuencia, respecto al clima, este debe ser húmedo cálido con precipitación no mayor a 2,000 mm al año con humedad relativa cerca al 80% (Hernández-Hernández, 2011), esta condición podría cumplirse en los tratamientos evaluados dentro del SAF, gracias al microclima que se crea bajo los doseles de las especies asociadas. Damirón (2004), menciona que el suelo no es un factor importante, siempre y cuando éste sea permeable y con alto porcentaje de materia orgánica (>2%); los suelos con características diferentes serán incapaces de retener humedad.

Tabla 3. Valor promedio de frutos de cacao en los diferentes tratamientos evaluados antes y después de la siembra de vainilla en el sistema agroforestal cacao.

Tratamientos <sup>†</sup>	Cantidad de frutos (noviembre 2016)	Cantidad de frutos (noviembre 2017)
Tc	31.35a	38.25a
Vp/Tc	30.40a	36.55a
Tc-Vp1m	34.50a	37.45a
Tc-Vp2m	35.20a	39.00a

<sup>†</sup>Tc = “cacao sin interacción con vainilla”, Vp/Tc = “vainilla sobre cacao”, Tc-Vp1m = “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de un metro”, Tc-Vp2m = “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de dos metros”. Letras distintas entre columnas denotan diferencia significativa entre tratamientos ( $P > 0.05$ ).

En el Tabla 4 se muestran la cantidad y el porcentaje de sobrevivencia (%PS) de la vainilla evaluadas a los 60 días después de la siembra. Se observa una alta cantidad de plantas vivas para todos los tratamientos (superior a 20) sin diferencia entre ellos ( $\chi^2 = 3.38$ ;  $P = 0.67$ ). Hernández y Sánchez (2011), mencionan que para obtener un 90% de prendimiento de los esquejes, el periodo de plantación más recomendable es entre abril y junio, después de una lluvia o riego al sistema donde se realizará la siembra. Estudios realizados con dos tipos de inhibidores de crecimiento en condiciones *in vitro* reportaron un 90 y 100% de sobrevivencia utilizando ácido abscísico y paclobutrazol, respectivamente. Sin embargo, estos datos pueden diferir cuando los inhibidores son utilizados en campo (Bello-Bello *et al.*, 2015).

Tabla 4. Cantidad y porcentaje de plantas vivas (%PV) en cada tratamiento a los 60 días.

Tratamientos <sup>†</sup>	Cantidad	%PV
Vp/Tc	24	80.0a
Tc-Vp1m	22	73.3a
Tc-Vp2m	25	83.3a
Vp	23	76.7a

<sup>†</sup>Vp/Tc = “vainilla sobre cacao”, Tc-Vp1m = “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de un metro”, Tc-Vp2m = “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de dos metros” y Vp = “vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao”. Letras distintas entre columnas denotan diferencia significativa entre tratamientos ( $P > 0.05$ ).

El tratamiento “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de dos metros” (Tc-Vp2m) recibió la sombra de dos estratos arbóreos, aunque, por la distancia al cacao, este no repercutió directamente sobre la vainilla comparado con las plantas sembradas en los tratamientos “vainilla sobre cacao” (Vp/Tc) y “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de un metro” (Tc-Vp1m); por tal motivo, el tratamiento Tc-Vp2m podría recibir mayor cantidad de nutrientes por la descomposición de la hojarasca de la especie de sombra y del cacao, favoreciendo mayor sobrevivencia en este tratamiento. Por su parte el tratamiento Vp/Tc, recibe directamente la sombra de dos diferentes estratos arbóreos del sistema, acá la vainilla tiene la

ventaja de estar tutorada por una especie viva, facilitando que el cultivo pueda suministrarse de nutrientes en dos partes: por el suelo y por el tallo del árbol de cacao. Damirón (2004), menciona que la sobrevivencia de la vainilla depende de los materiales foliares de las hojas (i.e. carbohidratos solubles) y por la descomposición de la hojarasca producida por los árboles de sombra, esto puede ser explicado por el mayor porcentaje de materia orgánica presente en la parcela A comparado con la B. Sin embargo, si la vainilla recibe una sombra mayor al 50% provocaría que el cultivo enferme y muere (Herrería, 1980). Por su parte, el tratamiento “vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao” (Vp) tuvo un %PS menor debido a la poca cantidad de materia orgánica que aporta el cedro (*Cedrela odorata*), además de recibir directamente mayor radiación solar repercutiendo claramente en el mal desarrollo de los esquejes de vainilla.

Claudia *et al.*, (2017) encontraron que la alta radiación altera el funcionamiento de las plantas de vainilla, inhibiendo la fotosíntesis y el crecimiento, y que los ambientes con sombra adecuada (40-50%) mostraron mayor fotosíntesis y crecimiento. Por ello, es necesario que el cultivo de la vainilla se encuentre bajo una sombra intermedia en la etapa de establecimiento para no poner en riesgo la sobrevivencia de las plantas. Hernández-Hernández (2011), recomienda una radiación solar que oscile entre 30 y 60% en plantaciones mexicanas, este requerimiento varía de acuerdo con las regiones productoras de vainilla (Anilkumar, 1994; Kahane *et al.*, 2008).

Aliphath (2009) y Caso-Barrera (2009), mencionan la existencia, desde los tiempos remotos, la asociación cacao y vainilla acompañada con el achiote (“triada del chocolate”); en donde cada cultivo era importante en el sostenimiento de familias, se infiere que la asociación cacao y vainilla puede ser favorable y rentable para los hogares.

Sánchez *et al.*, (2001) y Bautista (2014) mencionan la existencia de cuatro sistemas de producción para la principal región productora de vainilla: tradicional (acahual), semi-intensivo (bajo naranjos), intensivo

(bajo plantaciones de cocuite y/o pichoco) y tecnificado (bajo tutor artificial y malla sombra). Por lo anterior reportado, hasta ahora no se demuestra un estudio donde la vainilla se encuentre tutorada por el árbol de cacao.

### Desarrollo vegetativo de la vainilla

En la Tabla 5A, se observa la homogeneidad de los esquejes plantados sin diferencia entre tratamientos ( $\chi^2 = 1.38$ ;  $P = 0.70$ ). Cabe mencionar que la vainilla, por estar en etapa de siembra, las variables número de brotes (NB) y longitud del brote (LB) no presentaron crecimiento al momento de ser evaluados.

A los 60 días después de la siembra, se observó que para la variable LE tuvo un incremento promedio del 10% respecto a la medición anterior; mismo caso presentaron las variables NN, NH y Gr, el aumento respecto a la medición anterior fue del 12, 41 y 8%, respectivamente. Sin embargo, a pesar de existir incremento en estas variables, no hubo diferencia estadística entre tratamientos ( $\chi^2 = 5.42$ ;  $P = 0.14$ ). Por su parte, la variable número de brotes (NB) tuvo mayor promedio en el tratamiento “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de dos metros” (Tc-Vp2m, 0.65) superando a los tratamientos “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de un metro” (Tc-Vp1m, 0.60), “vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao” (Vp, 0.54) y “vainilla sobre cacao” (Vp/Tc, 0.42); respecto a la variable longitud del brote (LB) se observó mayor crecimiento en el tratamiento Vp (3.76 cm) comparando con los demás tratamientos (Tabla 5B).

A los 120 días, las variables número de nudos (NN) y longitud del brote (LB) presentaron diferencias estadísticas significativas ( $\chi^2 = 11.33$ ;  $P = 0.01$ ). El promedio mayor se tuvo en el tratamiento Vp (5.05) diferenciando estadísticamente con Tc-Vp1m (3.79 cm) para la variable NN. En cambio, el promedio mayor para la variable LB se observó en el tratamiento Tc-Vp2m (21.14 cm) siendo diferente estadísticamente con el resto de los tratamientos. Las variables longitud del esqueje (LE), número de hojas (NH), grosor del esqueje (Gr) y número de brotes (NB) no mostraron diferencias entre tratamientos (Tabla 5C).

A los 180 días se observó que las variables longitud del esqueje (LE), número de nudos (NN), número de hojas (NH) y longitud del brote (LB) presentaron diferencias estadísticas significativa ( $\chi^2 = 11.69$ ;  $P < 0.01$ ). Para la variable LE presentaron promedios similares los tratamientos Vp/Tc (80.20 cm) y Tc-Vp2m (79.20) siendo estadísticamente diferentes del tratamiento Vp (58.71 cm). Mismo caso fue observado para la variable NN, en donde los mayores promedios se presentaron en Vp/Tc (17.68) y Tc-Vp2m (16.00) diferenciado estadísticamente de Vp (14.25). Comportamiento similar se observó en la variable NH, los promedios

mayores se presentaron en los tratamientos Vp/Tc y Tc-Vp2m (19.37 y 16.98, respectivamente) diferenciando estadísticamente del tratamiento Vp (13.71). Para la variable LB, el tratamiento Vp/Tc (70.04 cm) presentó diferencia estadística significativa respecto a los tratamientos Tc-Vp1m y Vp con promedios de 47.64 y 46.77, correspondientemente. Finalmente, las variables grosor del esqueje (Gr) y número de brotes (NB) no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 5D). Los resultados encontrados anteriormente se explican principalmente por las características físicoquímicas del suelo, esto debido a una existencia mayor de materia orgánica en la parcela A (Tabla 2), favoreciendo el desarrollo vegetativo de las plantas de vainilla en esta parcela (Damirón, 2004).

Las mediciones realizadas a los 0 y 60 días no mostraron diferencias estadísticas significativas debido a que los esquejes fueron sembrados en la época fría del año, propiciando que el cultivo entrase en reposo vegetativo. Ante esto, Damirón (2004) recomienda que la vainilla debe sembrarse después de la temporada fría para favorecer el buen desarrollo del cultivo.

Hernández y Sánchez (2011) hacen hincapié que temperaturas altas son necesarias para el enraizamiento y emisión de brotes para la vainilla; esta acción fue observada en el mes de julio (180 días después de la siembra de la vainilla), en donde se muestran diferencias en las variables LE, NN, NH y LB. Una radiación solar interceptada entre 30 y 40% sobre la vainilla, favorecerá el incremento de la longitud del esqueje y de los brotes (Díez *et al.*, 2017). A pesar de que en la presente investigación no se tomaron datos de distancia entre nudos, se observó que esta variable morfológica fue mayor en esquejes plantados en el SAF-cacao comparado con esquejes establecidos bajo *Cedrela odorata* (mayor radiación fotosintéticamente activa), esto se asemeja con lo reportado por Díez *et al.*, (2017) (Figura 6).

El tratamiento “vainilla sobre cacao” (Vp/Tc) a los 180 días presentó diferencias estadísticas significativas en las variables LE, NN, NH y LB respecto a los tratamientos restantes. Estas diferencias pueden estar influenciadas por el forofito en donde crece la vainilla, ya que los árboles de cacao proporcionan, a través de su corteza, un mejor sustrato que pueden ser asimilados por las raíces adventicias de la vainilla (Nadkarni *et al.*, 2001). Ante esto, Akrofi y Acheampong (2016) mencionan que *Bulbophyllum* sp., una epífita trepadora, presentó mejor crecimiento en árboles de cacao que en otros forofitos; sin embargo, esta especie interfiere negativamente en la producción de frutos sobre las ramas del cacao. Por lo tanto, el estudio de la vainilla sobre el cacao debe seguirse estudiando en el corto-mediano plazo para

determinar si existe efecto de la vainilla sobre la producción del cacao.

El tratamiento “vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao” (Vp) a pesar de estar bajo sombra del 40%, adecuado para el buen desarrollo vegetativo en la fase inicial (Ranadive, 2005), mostró los valores más bajos a los 180 días. Ante esto Curti (1995) menciona que la plantación que este expuesta a mayor radiación solar

perderá humedad por la evapotranspiración propiciando que el desarrollo vegetativo de la vainilla sea lento; además, el exceso de radiación inducirá el amarillamiento en las plantas (Hernández y Lubinsky, 2011). Sin embargo, cuando exista exceso de sombra (70% o más) el grosor de la vainilla será menor, repercutiendo en la baja vigorosidad del cultivo (Ortíz, 1945; Curti, 1995).



Figura 6. Cultivo de la vainilla a los 180 días en los diferentes tratamientos establecidos en la Finca Los Chocos, ejido Ignacio Zaragoza Segunda Sección, Comalcalco, Tabasco.

A. Vp/Tc = “vainilla sobre cacao”, B. Tc-Vp1m = “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de un metro”, C. TcVp-2m = “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de dos metros” y D. Vp = “vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao” (bajo *Cedrela odorata*).

Tabla 5. Valores promedio de longitud del esqueje (LE), número de nudos (NN), número de hojas (NH), grosor del esqueje (Gr), número de brotes (NB) y longitud del brote (LB) a los 0, 60, 120 y 180 días después de sembrarse la vainilla en los diferentes tratamientos del sitio experimental.

A) Variables evaluadas a los 0 días						
Tratamientos <sup>†</sup>	LE	NN	NH	Gr	NB	LB
Vp/Tc	34.81±2.29a	3.12±0.20a	2.90±0.42a	3.11±0.04a	¶	¶
Tc-Vp1m	34.91±4.25a	3.02±0.26a	2.59±0.15a	3.16±0.03a	¶	¶
Tc-Vp2m	34.76±5.06a	3.11±0.27a	2.73±0.19a	3.23±0.04a	¶	¶
Vp	35.14±2.76a	3.81±0.15a	3.36±0.09a	3.13±0.01a	¶	¶
B) Variables evaluadas a los 60 días						
Tratamientos <sup>†</sup>	LE	NN	NH	Gr	NB	LB
Vp/Tc	41.86±2.09a	3.56±0.21a	3.96±1.44a	3.41±0.30a	0.42±0.18a	2.15±5.24a
Tc-Vp1m	37.30±4.70a	3.48±0.46a	3.99±2.05a	3.40±0.25a	0.60±0.04a	3.00±2.40a
Tc-Vp2m	37.13±3.15a	3.44±0.51a	4.11±1.50a	3.48±0.45a	0.65±0.01a	2.76±1.23a
Vp	38.56±4.23a	4.15±0.36a	4.16±1.37a	3.39±0.19a	0.54±0.04a	3.76±1.45a
C) Variables evaluadas a los 120 días						
Tratamientos <sup>†</sup>	LE	NN	NH	Gr	NB	LB
Vp/Tc	46.35±7.32a	4.08±0.35ab	7.34±1.59a	3.53±0.03a	1.00±0.05a	15.15±4.67b
Tc-Vp1m	42.92±5.38a	3.79±0.50b	7.04±1.15a	3.50±0.00a	0.79±0.12a	14.19±3.06b
Tc-Vp2m	43.15±6.10a	4.46±0.11ab	7.70±2.11a	3.54±0.04a	0.91±0.08a	21.14±2.12a
Vp	44.43±3.92a	5.05±0.23a	6.74±1.25a	3.57±0.01a	0.83±0.09a	12.47±4.39b
D) Variables evaluadas a los 180 días						
Tratamientos <sup>†</sup>	LE	NN	NH	Gr	NB	LB
Vp/Tc	80.20±5.0a	17.68±3.98a	19.37±5.62a	3.79±0.04a	1.23±0.3a	70.04±5.91a
Tc-Vp1m	62.75±4.34ab	12.39±5.79ab	13.15±5.11b	3.72±0.02a	1.13±0.2a	47.64±8.28b
Tc-Vp2m	79.20±6.14a	16.00±3.86a	16.98±5.20b	3.80±0.02a	1.15±0.4a	68.96±7.48ab
Vp	58.71±8.5b	14.25±6.37b	13.71±4.1b	3.70±0.01a	1.07±0.3a	46.77±7.3b

<sup>†</sup>Vp/Tc = “vainilla sobre cacao”, Tc-Vp1m = “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de un metro”, Tc-Vp2m = “cacao y vainilla en tutor inerte a una distancia de dos metros” y Vp = “vainilla en tutor inerte sin interacción con cacao”. Letras distintas entre columnas denotan diferencia significativa entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ).

## CONCLUSIÓN

Al introducir el cultivo de la vainilla, como un tercer estrato en el sistema agroforestal, la producción del cacao no se vio afectada en la fase inicial de la vainilla. El desarrollo vegetativo de la vainilla presentó mejores resultados cuando fue tutorado sobre el cacao, que en los tutores inertes sin importar la distancia. Se recomienda continuar estos estudios hasta que la vainilla se encuentre en una etapa adulta, así como en árboles de cacao con edad menor.

## Agradecimientos

A CONACYT por la beca proporcionada al autor del presente artículo, así como al Cuerpo Académico UV-CA-263 Manejo y Conservación de Recursos Bioculturales de la Universidad Veracruzana y a la empresa Nestlé a través del Plan Cacao Nestlé de México.

## REFERENCIAS

- Akrofi, A. F. and Acheampong, K. 2016. Epiphytic and parasitic plant associated with cacao. En: Bryan, A. B. and Meinhardt. Cacao Diseases. A history of old enemies and new encounters. (Ed.) Springer International Publishing Switzerland 2016. <https://doi.org/10.1007%2F978-3-319-24789-2>
- Alex-Alan, F. de A., Valle R. R. 2008. Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian Journal of Plant Physiology. 19(4): 425-448. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>
- Aliphath, M. M. 2009. Huertos y cacaotales Mayas: Un análisis agroecosistémico. En XXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2008 (editado por J. P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía). Museo Nacional de

- Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital).
- Almeida, A. A. F., Gomes, F. P., Araujo, R. P., Santos, R. C., Valle R. R. 2014. Leaf gas exchange in species of the *Theobroma* genus. *Photosynthetica*. 52: 16–21. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0048-8>
- Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., Suarez-Salazar J. C. 2012. Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores Corpoica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 13(2): 145-150. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol13\\_num2\\_art:249](https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num2_art:249)
- Alvim, P. de T., Machado, D. A., Vella, F. 1981. Respuestas fisiológicas del cacao a los factores ambientales. *El Cacaotero Colombiano*. 17: 27-52.
- Andrade, H. J., Segura, M. A. 2016. Dinámica de la sombra de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales con café en Tolima, Colombia. *Agronomía Costarricense*. 40(2): 77-86. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i2.27387>
- Andres, C., Comoé, H., Beerli A., Schneider M., Rist S., Jacobi J. 2016. Cocoa in Monoculture and Dynamic Agroforestry. In: Lichtfouse E. (eds) *Sustainable Agriculture Reviews*. Sustainable Agriculture Review. Vol 19. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_3)
- Anilkumar, A. S. 2004. Vanilla cultivation: A profitable agri-based enterprise. *Kerala Calling*. 1: 26-30.
- Barrera-Rodríguez, A. I., Herrera-Cabrera E., Jaramillo-Villanueva J. L., Escobedo-Garrido J. S., Bustamante-González, A. 2009. Caracterización de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* A.) bajo naranjo y en malla sombra en el Totonacapan. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10: 199-212.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bautista, S. J. 2014. Caracterización de la polinización y fitosanidad en tres sistemas de cultivo vainilla, en Papantla y Coatzintla, Veracruz. Tesis de posgrado en Ecología Tropical. Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO), Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz. México. pp. 56.
- Beer, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao* L.) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems*. 7: 103-114. <https://doi.org/10.1007/BF00046846>
- Beer, J., Bonnemann, A., Chavez, W., Fassbender, H. W., Imbach A. C., Martel, I. 1990. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) or poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. V. Productivity indices, organic material models and sustainability over ten years. *Agroforestry Systems*. 12: 229–249. <https://doi.org/10.1007/BF00137286>
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., Somarriba E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*. 38: 139–164. <https://doi.org/10.1023/A:1005956528316>
- Bello-Bello, J. J., García-García, G. G., Iglesias-Andreu, L. 2015. Conservación de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) bajo condiciones de lento crecimiento *in vitro*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(2): 165–171.
- Caso-Barrera, L. 2009. Huertos Q'eqchi': Comprobación actual de un agroecosistema prehispánico. En XXII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2008 (editado por J.P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía). Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital).
- Clough, Y., Faust, H., Tschardt T. 2009. Cacao boom and bust: sustainability of agroforests and opportunities for biodiversity conservation. *Conservation Letters*. 2: 197–205. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2009.00072.x>
- Cocoa Market Update. 2014. En línea: <http://www.worldcocoafoundation.org>. Consultado 14/03/2016.
- Córdova-Ávalos, V., Sánchez-Hernández, M., Estrella-Chulím, N. G., Macías-Layalle, A., Sandoval-Castro E., Martínez-Saldaña, T., Ortiz-García, C. F. 2001. Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Ejido Francisco I. Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 17(34): 93-100.
- Curtí, D. E. 1995. El Cultivo de la Vainilla en México. Instituto Nacional Indigenista (INI). Papantla, Veracruz, México.
- Damirón, V. R. 2004. La vainilla y su cultivo. Dirección General de Agricultura y

- Fitosanitaria del estado de Veracruz, México. 50 p.
- Deheuvels, O., Avelino, J., Somarriba, E., Malezieux, E. 2012. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 149: 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.003>
- Díez, G. M. C. Moreno, F., Gantiva E. 2017. Effects of light intensity on the morphology and CAM photosynthesis of *Vanilla planifolia* Andrews. *Revista Facultad Nacional Agronomía Medellín*. 70(1): 8023-8033. <http://dx.doi.org/10.15446/rfna.v70n1.61736>
- Durán-Bautista, E. H., Ángel-Sánchez, Y. K., Suárez-Salazar J. C. 2015. Dinámica de la radiación fotosintéticamente activa en arreglos agroforestales con *Hevea brasiliensis* en el norte de la Amazonia Colombiana. *Revista de la Universidad de Ciencias Aplicadas Actualidad & Divulgación Científica*. 18(2): 365–372.
- Espinoza-García, J. A., Uresti-Gil, J., Vélez-Izquierdo, A. 2015. Productividad y rentabilidad potencial del cacao. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5): 1051-1063.
- Fassbender, H. W., Beer, J., Heuvelodp, J., Imback, A., Enriquez, G., Bonnemann, A. 1991. Ten-year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 45: 173–183. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90215-H](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90215-H)
- Gamboa-Gaitán, M. A. 2014. Vainillas colombianas y su microbiota. II. Diversidad, cultivo y microorganismos endófitos. *Universitas Scientiarum* 19(3): 287-300. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC19-3.vcmd>
- García, L. J. L. 1983. Los árboles que se usan como sombra de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Comalcalco, Tabasco. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Gardner, T. A., Barlow, J., Chazdon, R., Harvey, C. A., Peres, C. A., Sodhi, N. S. 2009. Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. *Ecology Letters*. 12: 561–582. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01294.x>
- Harja, D., Vincent G. 2008. Spatially Explicit Individual-based Forest Simulator—User Guide and Software. World Agroforestry Centre (ICRAF) and Institute de Recherche pour le Development (IRD). 93 pp. <http://www.worldagroforestry.org/publication/sexi-fs-spatially-explicit-individual-based-forest-simulator-user-guide-and-software>
- Harvey, C. A., Komar, O., Chazdon, R., Ferguson, B. G., Finegan, B., Griffith, D. M., Wishnie M. 2008. Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. *Conservation biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*. 22(1): 8–15. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00863.x>
- Hernández-Hernández, J. 2011. Mexican Vanilla Production. pp. 1-25. In: Havkin-Frenkel D. and Belanger F (ed.). *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Wiley-Blackwell, West Sussex, UK. 339 pp.
- Hernández, H. J., Sánchez M. S. 2011. Producción de planta de calidad de vainilla (*Vanilla planifolia* G. Jackson). INIFAP-Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Martínez de la Torre, Ver., México. ISBN: 978-607-425-651-2.
- Hernández, J., P. Lubinsky. 2011. Cultivation Systems, p. 75-95, En: E. Odoux y M. Grisoni, eds. *Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants-Industrial Profiles*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Hipólito-Romero, E. 2010. Modelo de intervención con enfoque ecosistémico para el desarrollo empresarial rural de pequeños productores: Estudio de caso en la región totonaca del Estado de Veracruz, México. Tesis de posgrado en Ecología Tropical. Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO), Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz. México. 211 pp.
- ICCO (Organización Internacional de Cacao). 2007. Informe anual de producción. 43 pp.
- Jaimez, R., Ramón, E. Tezara, W., Coronel, I., Ulrich R. 2008. Ecophysiology of cocoa (*Theobroma cacao*): its management in agroforestry system. Suggestions for improvement in Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*. 52(2): 253-258.
- Jezeer, R. E., Verweij, P. A., Santos, M. J., Boot, R. G. A. 2017. Shaded coffee and cocoa-double dividend for biodiversity and small-scale farmers. *Ecological Economics*. 140: 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.019>

- Jose, S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*. 76: 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Kahane, R., Besse, P., Grisoni, M., Le Bellec, F., Odoux E. 2008. Bourbon vanilla: natural flavour with a future. *Chronica Horticulturae*. 48(2): 23-28. ISSN: 0578-039X
- Kelso-Bucio, H. A., Bâ, K. M., Sánchez-Morales, S., Reyes-López D. 2012. Estimación *in situ* del  $K_{cini}$  de la vainilla (*vanilla planifolia* A.). *Agrociencia*. 46(5): 499-506.
- Koko, L. K., Snoeck, D., Lekadou, T.T., Assiri A. A. 2013. Cacao-fruit tree intercropping effects on cocoa yield, plant vigour and light interception in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems*. 87: 1043-1052. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9619-8>
- Luedeling, E., Kindt, R., Huth, N. I., Koenig K. 2014. Agroforestry systems in a changing climate-challenges in projecting future performance. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 6:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.07.013>
- Maldonado, F., Jasso, J., Palma-López, D., Salgado, S., Gonzáles, V. 2006. Dinámica de materia orgánica, P y K en suelos de sistemas agroforestales “cedro-plátano” en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(3):223-230.
- Meléndez, G. 1997. Transformaciones de carbono, nitrógeno y fósforo del suelo, en sistemas agroforestales, cultivos anuales y bosque natural. Thesis Mag. Sc. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 105 pp.
- Muller, M., Serrano-Minar, P., Biehl, B. 1992. Photosynthetic characteristics during development of leaves of *Theobroma cacao* L. *Acta Physiologiae Plantarum*. 85(3): 132-140. <https://doi.org/10.1023/A:1006861513830>
- Nadkarni, N. M., Mark, M. and Jurgen, N. 2001. Forest Canopies, Plant diversity. 27-40, En: Levin, S. (Ed.). *Encyclopedia of diversity*. Academic Press, San Diego, California, EE.UU. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00158-1>
- Ofori, A. D., Gyau A., Dawson, K. I., Asaah, E., Tchoundjeu, A., Jamnadass. 2014. Developing more productive African agroforestry systems and improving food and nutritional security through tree domestication. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 6: 123-127. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.016>
- Opoku, I. Y., Akrofi, A. Y., Appiah, A. A. 2002. Shade trees are alternative hosts of the cocoa pathogen *Phytophthora megakarya*. *Crop Protection*. 21: 629–634. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00013-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00013-3)
- Orozco, L., López A., Somarriba E. 2008. Enriquecimiento de fincas cacaoteras con frutales y maderables en Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas*. 46: 65-72.
- Ortiz-López, O. 1945. El cultivo de la Vainilla. Tesis Profesional de Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Pinheiro, J. C., Bates, D. M. 2000. Mixed-effect models in S and S-PLUS. Springer, New York. <https://doi.org/10.1007/b98882>
- Quesada, F., Somarriba, E., Malek, M. 2007. ShadeMotion 3.0: Software para calcular la cantidad de horas de sombra que proyectan un conjunto de árboles sobre un terreno. 31 p. <http://shademotion.net/>
- R, Development Core Team. 2017. R: a language and environment for statistical computing, version 3.3.0. Vienna, Austria. Consultado en febrero de 2018: <https://www.r-project.org/>
- Ranadive, A. S. 2005. Vanilla cultivation. pp. 25–31. In: Gleason-Allured, J. (ed.). *Proceedings of the First Vanilla International Congress*. Princeton (NJ): Rutgers University.
- Reyes, L. D., Rodríguez, B. M., Kelso, B. H., Huerta, L. M., Ibáñez, M. A. 2008. *Beneficiado Tradicional de Vainilla*. Editorial Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 72 pp. ISBN: 978 968 939 222 4
- Rice, A. R., Greenberg, R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 29: 167-173. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.3.167>
- Ruf, F., Schroth, G. 2004. Chocolate forest and monocultures: a historical review of cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. En: Schroth G, da Fonseca G, Harvey CA, Gascon C, Vasconcelos H, Izac AM, editores. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Washington DC: Island Press. 107-134 pp.
- Russo, R. 1984. *Erythrina*: un género versátil en sistemas agroforestales del trópico húmedo.



- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- Sánchez, M. S., Becerril, R. A. E., Tijerina, C., L., Santizo, R. J. A. 2001. Crecimiento y desarrollo de vainilla en tres sistemas de producción en Papantla, Veracruz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 24(1): 49-56.
- Santillán, F. A., Salas, Z. A., Vásquez, B. N. 2018. La productividad de la vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) en México de 2003 a 2014. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(47): 50-69. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.165>
- Saquicela, R. D. F. 2017. Influencia de la competencia entre componentes de sombra y cacao sobre la producción en sistemas agroforestales en Centroamérica. Tesis de la División de Educación y el Programa de Posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Sasson, A. 2012. Food security for Africa: an urgent global challenge. *Agriculture and Food Security*. 2(1): 1-16. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-2>
- Schroth, G. 2003. Decomposition and Nutrient Supply from Biomass. In Schroth, G; Sinclair, F.L. eds. *Trees, Crops and Soil Fertility: Concepts and Research Methods*. Cambridge, MA, USA, CABI. p. 131-150.
- Segura, M., Andrade, H. J. 2007. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. *Agroforestería en las Américas (CATIE)*. 46: 89-96.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Datos de los cultivos de cacao y vainilla. <http://www.siap.gob.mx/consulta:03-06-2016>
- Soto-Arenas, M. A. 2006. La vainilla: retos y perspectivas de su cultivo. *Biodiversitas* 66: 1-9.
- Soto-Arenas, M.A. 2003. Vanilla. In: Pridgeon, A.M., P.J. Cribb, M.W. Chase and F. Rasmussen (ed.), *Genera orchidacearum: Orchidoideae*. Oxford University Press, Oxford, U. K.
- Suárez-Salazar, J. C., Ngo Bieng, M. A., Melgarejo, L. M., Di Rienzo, J. A., Casanoves, F. 2018. First typology of cacao (*Theobroma cacao* L.) systems in Colombian Amazonia, based on tree species richness, canopy structure and light availability. *PLoS ONE*. 13(2): 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191003>
- Utomo, B., Prawoto, A. A., Sébastien, C., Bonnet, B., Banqiwat, A., Gheewala H. S. 2016. Environmental performance of cocoa production from monoculture and agroforestry systems in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*. 134: 583-591. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.102>
- Vaast, P., Somarriba E. 2014. Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems*. 88: 947-956. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9762-x>
- Zequeira, L. C. 2012. La producción de cacao en México: Tabasco, estudio de caso. Tesis de posgrado en Ecología Tropical. Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO), Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz. México. 218 pp.
- 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(2): 195-225. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.06.015>