

Evaluación agronómica de híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) para selección de alto rendimiento y resistencia en campo a moniliasis*

Agronomic evaluation of cocoa hybrids (*Theobroma cacao* L.) for high-yield selection and field resistance to moniliasis

José Luis Solís Bonilla^{1§}, Alfredo Zamarripa Colmenero¹, Víctor Pecina Quintero², Eduardo Garrido Ramírez³ y Elizabeth Hernández Gómez¹

¹Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP. Carretera Tapachula-Cacahoatán km 18. C. P. 30870. Tuxtla Chico, Chiapas, México. (zamarripa.alfredo@inifap.gob.mx; hernandez.elizabeth@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, C. P. 38110 Celaya, Guanajuato, México. (pecina.victor@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Carretera Internacional Ocozocoautla-Cintalapa km 3, Ocozocoautla de Espinosa, C. P. 29140, Chiapas, México. (garrido.eduardo@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: solis.joseluis@inifap.gob.mx.

Resumen

En este estudio se evaluó el comportamiento agronómico de 11 familias híbridas de cacao (*Theobroma cacao* L.) con resistencia a monilia (*Moniliophthora roreri* (Cif. & Par.), establecidas en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, bajo condiciones del trópico húmedo. Las familias híbridas fueron obtenidas mediante polinización controlada de los cruzamientos recíprocos de los clones UF-273, PA-169, SCA-6, ICS-1, SANTA CLARA-3, RIM-117 y POUND-7. Las plantas se sembraron a una distancia de 3 m entre hileras y 2 m entre plantas en un diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones y ocho plantas por unidad experimental. Las variables evaluadas fueron: peso fresco de grano, peso seco de grano, índice de mazorca, índice de semilla e incidencia de la moniliasis. Los resultados de cuatro ciclos de evaluación (2009, 2010, 2011 y 2012) mostraron que el mejor híbrido proviene de los cruzamientos Uf-273 x PA-169 y PA-169 x UF-273. Considerando el total de mazorcas de la plantación, la incidencia de la moniliasis alcanzó 40% en los años de evaluación. Se detectaron familias de híbridos con bajos porcentajes de incidencia de la enfermedad y altos rendimientos de grano por unidad de superficie.

Abstract

In this study agronomic behavior of 11 hybrid families of cacao (*Theobroma cacao* L.) resistant to monilia (*Moniliophthora roreri* (Cif. & Par.) and established in the town of Tuxtla Chico, Chiapas, under humid tropical conditions was evaluated. Hybrid families were obtained through controlled pollination of reciprocal cross of UF-273, PA-169, SCA-6, ICS-1, Santa Clara-3, RIM-117 and Pound-7 clones. Plants were seeded at a distance of 3 m between rows and 2 m between plants in a randomized block with four replications and eight plants per experimental unit. Evaluated variables were: grain fresh weight, grain dry weight, pod index, index seed and incidence of moniliasis. Results from cycles (2009, 2010, 2011 and 2012) showed that the best hybrid comes from cross Uf-273 x PA-169 and PA-169 x UF-273. Considering total pods of crop, the incidence of moniliasis reached 40% in the years of assessment. Hybrid families with low percentages of disease incidence and high grain yields per unit area were detected.

Keywords: *Moniliophthora roreri*, *Theobroma cacao*, breeding, resistance.

* Recibido: junio de 2014
Aceptado: diciembre de 2014

Palabras claves: *Moniliophthora roreri*, *Theobroma cacao*, mejoramiento genético, resistencia.

Introducción

En el mundo se producen anualmente 4.3 millones de toneladas de grano de cacao (ICCO, 2011) de los cuales 74.9% se concentran en África Occidental, 12.1% en el sureste asiático y 13% en América Latina. Costa de Marfil produce 35% de la producción mundial. El cacao en México es un cultivo tropical que se desarrolla en una superficie de 61 612 ha de las cuales 20 347 ha se localizan en el estado de Chiapas, 41 027 ha en Tabasco y 238 ha en Guerrero, mismas que producen 27 619 t de grano seco por año, con rendimientos promedio de 450 kg de grano por hectárea (SIAP, 2014). De este cultivo dependen más de 45 000 familias, generando 4.98 millones de jornales al año, que generan 984.5 millones de pesos.

En Mesoamérica, región de amplia diversidad de ecosistemas, se desarrolló la producción de cacao desde la época prehispánica, siendo probablemente los olmecas quienes domesticaron el cacao seguido de los izapeños, habitantes de la región del Soconusco, Chiapas (Ogata, 2007). Actualmente el cultivo de cacao en México presenta bajos rendimientos unitarios que oscilan alrededor de los 400 kg de cacao seco ha⁻¹. La edad avanzada de las plantaciones (más de 80%) y la falta de variedades mejoradas de alto rendimiento, con resistencia a plagas y enfermedades constituyen las causas principales de los bajos rendimientos de este cultivo, ocasionando pérdidas para los productores de más de \$16 000.00 por hectárea (Solís *et al.*, 2009; Solís y Zamarripa, 2010).

Otro factor que contribuye a la baja productividad es la presencia de enfermedades como la moniliasis (*Moniliophthora roreri* (Cif. & Par.) Evans *et al.* (2003), que aunado a la alta susceptibilidad de las variedades de cacao cultivadas en México, provocan pérdidas de más de 80% de la producción por unidad de superficie (Zamarripa y Solís, 2009). La susceptibilidad uniforme de casi todas las variedades sembradas hace que la presencia de estas enfermedades alcance niveles catastróficos. En Brasil, por ejemplo, 60 000 ha cultivadas con cacao fueron afectadas (Pereira, 1999) en las cuales predominaban materiales introducidos de la Cuenca Amazónica en 1746 (Bartley, 2005). En Costa Rica el problema de la moniliasis acabó con la producción rentable de cacao convirtiéndolo en un país importador de este grano.

Introduction

Worldwide 4.3 million tons of cocoa beans are produced annually (ICCO, 2011) of which 74.9% are in West Africa, 12.1% in Southeast Asia and 13% in Latin America. Ivory Coast produces 35% of world production. Cocoa in Mexico is a tropical crop that develops in an area of 61 612 ha of which 20 347 ha are located in the state of Chiapas, 41 027 ha in Tabasco and 238 ha in Guerrero, same that produce 27 619 t of dry grain per year, with average yields of 450 kg of grain per hectare (SIAP, 2014). More than 45 000 households depend on this crop, generating 4.98 million day laborers annually, which generate 984.5 million pesos.

Mesoamerica, a region with a wide variety of ecosystems, develops cocoa production since pre-Hispanic times; probably Olmecs are who domesticated cacao, followed by izapeños, inhabitants of the region from Soconusco, Chiapas (Ogata, 2007). Currently in Mexico cocoa cultivation has low yields ranging close to 400 kg of dry cocoa ha⁻¹. Old plantations (over 80%) and lack of improved high-yielding varieties with resistance to pests and diseases are the main causes of low yields in this crop; causing losses for more than \$16 000.00 per hectare for producers (Solís *et al.*, 2009; Solís and Zamarripa, 2010).

Another factor contributing to low productivity is the presence of diseases such as moniliasis (*Moniliophthora roreri* (Cif. & Par.) Evans *et al.* (2003), and added to high susceptibility of cocoa varieties grown in Mexico, cause losses of more than 80% of production per unit area (Zamarripa and Solís, 2009). Uniform susceptibility of almost all varieties sown makes the presence of these diseases reach catastrophic levels. For example in Brazil 60 000 ha of cocoa were affected (Pereira, 1999) in which predominated materials introduced from the Amazon Basin in 1746 (Bartley, 2005). In Costa Rica the problem of moniliasis ended with profitable production of cacao turning it into an importing country of this grain.

Moniliasis in cacao is a disease caused by fungus *Moniliophthora roreri*, which appeared in Mexico in 2005, limited to all species of the genus *Theobroma* and *Herrania* (Phillips-Mora *et al.*, 2007). According to Phillips (2003), is distributed in tropical America, and its origin is in Colombia. The fungus is highly aggressive as a single spore (from 144 million that can produce a diseased pod), is enough to infect the fruit (Figure 1). Evans *et al.* (2003) consider that

La moniliasis del cacao es una enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, el cual apareció en México en el año 2005, limitado a todas las especies de los géneros *Theobroma* y *Herrania* (Phillips-Mora *et al.*, 2007). Según Phillips (2003), se encuentra distribuida en América Tropical, y su origen se sitúa en Colombia. El hongo es altamente agresivo ya que una sola espora (de las 144 millones que puede producir una mazorca enferma), es suficiente para infectar un fruto (Figura 1). Evans *et al.* (2003) consideran que *M. roreri* se encuentra todavía en una fase invasiva alcanzado a países como Nicaragua en 1980, Perú en 1988, Honduras en 1997 y Guatemala en 2002.

Las perspectivas actuales ante la presencia de la moniliasis pueden ser alarmantes, considerando que en otros países como Costa Rica, ha causado la desaparición de las plantaciones. Sin embargo, es importante mencionar que la investigación cuenta con métodos y técnicas para hacer frente a la moniliasis, tal como se han solucionado, por ejemplo los problemas de las "royas del trigo" en el norte de México y la "quema del follaje" del arroz en el trópico mexicano (Zamarripa *et al.*, 2011).

En vista del poco éxito obtenido con el uso de productos químicos y el alto costo de los mismos para el combate de enfermedades del cacao, se han seleccionado materiales resistentes, con el fin de utilizarlos como progenitores en programas de mejoramiento genético (Enríquez y Soria, 1984). La moniliasis requiere de un manejo consistente y sistemático a través de todo el año (Pinzón y Rojas, 2008). Enríquez y Soria (1984) reportan que en la selección de materiales resistentes se han utilizado dos métodos principales: la selección de árboles que muestran resistencia o tolerancia a la enfermedad bajo condiciones de infección natural o por medios artificiales.

Una vez comprobada la resistencia, el árbol es propagado vegetativamente para la obtención de clones. El otro método consiste en la incorporación de resistencia en descendencias híbridas de padres resistentes o de diferentes características. Para este fin se produce descendencia legítima mediante cruzamientos dirigidos con polinización controlada y se evalúa el grado de transmisión genética de la resistencia a las descendencias híbridas, antes de recomendarlas como resistentes. Por su parte, Efron *et al.* (2006) y Efron *et al.* (2003), mencionan que para que los programas de mejoramiento genético sean exitosos, deben ser integrales, balanceados y realizados a una escala suficientemente amplia.

M. roreri is still in an invasive phase reaching countries like Nicaragua in 1980, Perú in 1988, Honduras in 1997 and Guatemala in 2002.



Figura 1. Infección de la mazorca de cacao (*Theobroma cacao* L.) por *Moniliophthora roreri* Cif. & Par.

Figure 1. Infection of cacao pod (*Theobroma cacao* L.) by *Moniliophthora roreri* Cif. & Par.

Current approaches in the presence of moniliasis can be alarming, considering that in other countries such as Costa Rica, has caused the disappearance of plantations. However, it is important to note that research has methods and techniques to deal with moniliasis, as has been solved, such problems as "wheat rust" in northern Mexico and the "burning of the foliage" from rice in Mexican tropics (Zamarripa *et al.*, 2011).

In view of the limited success with the use of chemicals and the high cost of the same to combat diseases in cocoa, have been selected materials with resistance, in order to use them as parents in breeding programs (Enríquez and Soria, 1984). Moniliasis requires a consistent and systematic management throughout the year (Pinzon and Rojas, 2008). Enríquez and Soria (1984) report that in the selection of resistant materials have been used two main methods: the selection of trees showing resistance or tolerance to the disease under natural conditions of infection or by artificial means.

After verifying the resistance, the tree is vegetative propagated to obtain clones. The other method involves adding resistance in hybrid progeny from resistant parents or different characteristics. For this purpose are produced legitimate progeny through controlled pollination and evaluate the degree of genetic transmission of resistance to hybrid offspring, before to recommend it as resistant. Meanwhile, Efron *et al.* (2006) and Efron *et al.* (2003) mention that for breeding programs to be successful, must be comprehensive, balanced and implemented at large enough scale.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), desde el año 1987, realiza actividades de mejoramiento genético para elevar el rendimiento y calidad del cacao y obtener resistencia a los principales problemas fitosanitarios (Cueto *et al.*, 2007). Como alternativa al bajo rendimiento unitario y a la presencia de la monilia, el INIFAP realiza investigaciones sobre el mejoramiento genético de cacao a través de un programa que considera cruzamientos interclonales mediante polinización artificial así como la selección y clonación de árboles élite en cada familia de híbridos (Zamarripa *et al.*, 2011). El objetivo del presente estudio fue determinar el comportamiento agronómico así como seleccionar materiales élite de alto rendimiento y con resistencia en campo a la monilia de 11 familias híbridas de cacao, con base en el rendimiento, índices de mazorca, índice de semilla e incidencia de moniliasis.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo del año 2009 a 2012, en el Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP, ubicado en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas, con coordenadas geográficas 92° 09' longitud oeste y 14° 58' latitud norte a una altitud de 435 msnm, área cacaotera de selva tropical húmeda con 26 °C de temperatura media y precipitación media anual de 4 194 mm, la cual se distingue por tener las condiciones idóneas para el desarrollo de la monilia y contar con una fuerte presión del inóculo de esta enfermedad. El ensayo se estableció en el año 2006 bajo un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones con 11 familias híbridas y un testigo local como tratamientos. Los híbridos fueron generados a partir de la polinización controlada (Cueto, 2004), del cruzamiento de los clones UF-273, PA-169, SCA-6, ICS-1, SANTA CLARA-3, RIM-117 y POUND-7 (Cueto *et al.*, 2007) (Cuadro 1).

The National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), since 1987, carries out genetic improvement to increase yield and quality of cocoa and provide resistance to phytosanitary problems (Cueto *et al.*, 2007). As an alternative to low unit yield and the presence of monilia, INIFAP conducts research on genetic improvement of cocoa through a program that considers interclonal crosses through artificial pollination, thus selection and cloning of elite trees in each hybrids family (Zamarripa *et al.*, 2011). The aim of this study was to determine the agronomic behavior thus selection of elite high-yielded materials and field resistance to monilia of 11 hybrid families of cocoa, based on yield, cob index, seed index and incidence of moniliasis.

Materials and methods

The study was conducted from 2009 to 2012 in the experimental field of Rosario Izapa from INIFAP, located in the town of Tuxtla Chico, Chiapas, with geographic coordinates 92° 09' west longitude and 14° 58' north latitude at an altitude of 435 masl, cocoa rainforest area with average temperature 26 °C and average annual rainfall of 4 194 mm, which is distinguished by having the right conditions for the development of monilia and having a strong inoculum pressure from this disease. The trial was established in 2006 under a randomized block design with four replications with 11 hybrid families and a local control as treatments. The hybrids were generated through controlled pollination (Cueto, 2004), by crossing clones of UF-273, PA-169, SCA-6, ICS-1, SANTA CLARA-3, RIM-117 and POUND-7 (Cueto *et al.*, 2007) (Table 1).

The first five clones have been reported as resistant to moniliasis (González and Vidal, 1992, Phillips, 2003, Phillips, 2005; USAID, 2007). Arciniegas (2005), concluded

Cuadro 1. Identificación de tratamientos y genealogía de los cruzamientos incluidos en el ensayo.

Table 1. Treatments identification and genealogy of crosses included in the trial.

Tratamiento	Cruzamiento	Tratamiento	Cruzamiento
1	SCA 6 * PA 169	7	Pound 7 * PA 169
2	SCA 6 * ICS 1	8	PA 169 * SCA 6
3	PA 169 * Santa Clara 3	9	Poud 7 * UF 273
4	PA 169 * Rim 117	10	UF 273 * SCA 6
5	PA 169 * UF 273	11	UF 273 * PA 169
6	PA 169 * Pound 7	12	Testigo (H16)

Los primeros cinco clones han sido reportados como resistentes a la moniliasis (González y Vidal, 1992; Phillips, 2003; Phillips, 2005; USAID, 2007). Por su parte Arciniegas (2005), concluyó que los genotipos que muestran una menor incidencia a la enfermedad tienen como progenitores a los clones UF-273, UF-712, EET-75 y PA-169, mientras que los genotipos más susceptibles fueron los que tienen como progenitores al clon POUND-7 o al clon CCN-51. Los tratamientos constaron de ocho plantas por unidad experimental. Se utilizó una distancia de siembra de 3 * 2 m con diseño rectangular lo que representa una densidad de población de 1 666 plantas ha⁻¹.

Las variables registradas fueron producción (número de mazorcas sanas producidas por árbol), rendimiento expresado en peso seco (kg árbol⁻¹), índice de mazorca, índice de semilla y resistencia de campo a la moniliasis.

Índice de mazorca. Se define como el número de frutos necesarios para obtener un kilogramo de cacao seco. El número de frutos necesarios para determinar el índice es de 20 (IPGRI, 2000). De acuerdo con Soria (1966) el índice de fruto está influenciado por factores genéticos, ambientales y de la edad de la planta. Este índice es importante puesto que un índice bajo, implica menos mazorcas que romper para obtener una mejor cosecha (Tahi *et al.*, 2007). El índice de mazorca se obtuvo dividiendo el número de mazorcas sanas entre el peso seco.

Índice de semilla. Se define como el peso promedio en gramos de 100 semillas secas y fermentadas (IPGRI, 2000). Comúnmente se descartan los materiales que registran un peso menor a 1.1 g. Jacob y Atanda (1975), informaron que la semilla proveniente de los frutos que son de forma amelonada presentan un rango de variación de 0.9 a 1.3 g. El índice de semillas se obtuvo dividiendo el peso seco entre el número de semillas.

Rendimiento de peso seco. Este valor se obtuvo mediante el proceso de poscosecha que consistió en la fermentación del grano durante 5 días seguido de secado en estufa de convección forzada a temperatura constante de 75 °C durante 3 días.

Incidencia de moniliasis. La enfermedad se estimó por la cuantificación del total de mazorcas producidas por híbrido, número de mazorcas sanas y número de mazorcas enfermas. Con base en esto, se determinó el porcentaje de incidencia mediante siguiente fórmula:

that genotypes showing lower incidence of the disease have as parents UF-273, UF-712, EET-75 and PA-169 clones, while the most susceptible genotypes were whose parents have clone POUND-7 or clone CCN-51. Treatments consisted of eight plants per experimental unit; planting distance of 3 * 2 m with rectangular design, representing a population density of 1 666 plants ha⁻¹.

The variables recorded were production (number of healthy pods produced per tree), yield expressed in dry weight (kg tree⁻¹), pod index, seed index and field resistance to moniliasis.

Pod index. It is defined as the number of fruit needed to obtain one kilogram of dry cocoa. The number of fruits needed to determine the index is 20 (IPGRI, 2000). According to Soria (1966) fruit index is influenced by genetic, environmental and plant age factors. This index is important since a low index means fewer pods to break to get a better harvest (Tahi *et al.*, 2007). The pod index was obtained by dividing the number of healthy pods over dry weight.

Seed index. It is defined as the average weight in grams of 100 dry seeds and fermented (IPGRI, 2000). Commonly materials weighing less than 1.1 g are discarded. Jacob and Atanda (1975) reported that seed from the fruits that have melon shape present a range of variation from 0.9 to 1.3 g. Seed index was obtained by dividing dry weight by the number of seeds.

Yield of dry weight. This value was obtained through postharvest process, consisting in fermentation of grain for 5 days, followed by drying in forced convection oven at constant temperature of 75 °C for 3 days.

Moniliasis incidence. The disease was estimated by quantification of total pods produced per hybrid, number of healthy pods and number of diseased pods. Based on this, the incidence rate was determined by following formula:

$$\text{Incidence (\%)} = \frac{\text{total pods with symptoms}}{\text{Total pods harvested}} * 100$$

Preselection of individuals. From 384 hybrids in evaluation, a selection pressure of 1.97%. In this research was allowed to select trees of high production and field resistance to the disease.

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{total de mazorcas con síntomas}}{\text{total de mazorcas cosechadas}} * 100$$

Preselección de individuos. De los 384 híbridos en evaluación, se realizó una presión de selección de 1.97%. En esta investigación se permitió seleccionar árboles de alta producción y con resistencia en campo a la enfermedad.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2, se muestran los resultados de variables del comportamiento de 11 familias híbridas y el testigo. En el análisis de varianza fueron significativas ($p \leq 0.05$) las variables número de semillas, peso fresco y seco de semilla así como los índices de mazorca y semilla, respectivamente. En la variable de número de semillas, los resultados obtenidos proyectaron rangos de 26.37 a 227.64 siendo la familia híbrida PA-169 * UF-273 quien obtuvo el valor más alto, seguido por las familias UF-273 * PA 169 y PA-169 * SCA-6. El promedio de peso fresco de semillas fue de 447.82 el cual fue ampliamente superado por las familias UF-273 * PA-169 y PA-169 * UF-273, quienes obtuvieron valores de 573.14 y 699.42 g planta respectivamente. El peso seco de semillas varió de 32.21 a 244.09 g planta. Destacan los híbridos UF-273 * PA-169 y UF-273 * PA-169 con valores de 195.49 y 244.09 g planta, respectivamente, promedio de cuatro ciclos de evaluación.

Results and discussion

Table 2, shows the results of 11 hybrid families and control. In the analysis of variance were significant ($p \leq 0.05$) the variables, number of seeds, fresh and dry weight seed thus pod and seed index, respectively. In variable number of seeds, the results show ranges of 26.37 to 227.64 being hybrid family PA-169 * UF-273 who obtained the highest value, followed by families UF-273 * PA 169 and PA-169 * SCA-6. The average fresh weight of seeds was 447.82 which were far outweighed by families UF-273 * PA-169 and PA-169 * UF-273, who obtained values of 573.14 and 699.42 g plant respectively. Dry weight of seeds ranged from 32.21 to 244.09 g plant. Highlighting hybrids UF-273 * PA-169 and UF-273 * PA-169 with values 195.49 and 244.09 g plant, respectively, average of four cycles of evaluation.

Pod index varied from 10 to 28.67. Hybrid PA-169 * RIM-117 had a pod index of 10; that is, that this genotype requires only 10 pods to form a kilogram of dried cocoa beans while genotype UF-273 * SCA-6 requires over 25 pods. Notably, the international standard for pod index is 25 pods to obtain a kg of dry grain.

For variable seed index, the average of 12 treatments gave a value of 0.77. The range for seed index ranged from 0.43 to 0.98. Hybrid PA-169 * UF-273 showed an average seed weight of 0.98 g, in four cycles of evaluation; similar results

**Cuadro 2. Comportamiento productivo de 11 familias híbridas, datos promedios de cuatro ciclos productivos (2009-2012).
Table 2. Productive behavior 11 hybrid families, average data of four cycles (2009-2012).**

Familia híbrida	NS	PFS	PSS	IM	IS
PA-169 * UF-273	227.64 a	699.42 a	244.09 a	24.82 abcd	0.98 a
UF-273 * PA-169	176.05 b	573.14 ab	195.49 b	22.72 bcde	0.87 abc
PA-169 * SCA-6	172.13 b	518.73 bcd	170.1 bc	25.72 abc	0.73 cde
UF-273 * SCA-6	171.12 b	479.73 bcd	166.81 bc	28.67 a	0.85 abc
PA-169 * Santa Clara-3	164.88 b	542.58 bc	179.32 b	20.27 ef	0.83 bc
Pound-7 * PA-169	162.23 bc	556.34 b	174.52 bc	21.6 cdef	0.88 ab
SCA-6 * PA-169	160.13 bc	475.09 bcd	154.49 bcd	26.85 ab	0.85 abc
Pound-7 * UF-273	152.09 bc	492.98bcd	163.33 bcd	19.57 ef	0.78 bcd
SCA-6 * ICS-1	117.63 c	402.99 cd	127.74 cd	20.59 def	0.78 bcd
PA-169 * Pound-7	115.88 c	390.27 d	117.02 d	18.21 f	0.69 de
Testigo (H16)	50.96 d	145.33 e	54.25 e	17.19 f	0.63 e
PA-169 * RIM-117	26.37 d	97.3 e	32.21 e	10 g	0.43 f
Media general	141.43	447.82	158.83	21.31	0.77

NS= número de semillas; PFS= peso fresco de semilla; PSS= peso seco de semilla; IM= índice de mazorca; IS= índice de semilla. Medias con letra diferente en la columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

El índice de mazorca varió de 10 a 28.67. El híbrido PA-169 * RIM-117 presentó un índice de mazorca de 10; es decir, que este genotipo requiere solo de 10 mazorcas para formar un kilogramo de granos de cacao seco mientras que el genotipo UF-273 * SCA-6 requiere de más de 25 mazorcas. Cabe destacar que el estándar internacional para índice de mazorca es de 25 mazorcas para obtener un kg de grano seco.

Para la variable índice de semilla, el promedio de los 12 tratamientos arrojó un valor de 0.77. El rango para índice de semilla varió de 0.43 a 0.98. El híbrido PA-169 * UF-273 presentó un peso promedio de semilla seca de 0.98 g, en cuatro ciclos de evaluación; resultados similares fueron observados por Arciniegas y Phillips (2006). El rendimiento promedio de cuatro ciclos expresado en kg ha⁻¹ varió de 54 a 407 kg ha⁻¹ siendo el híbrido PA-169 * UF-273 quien presentó el valor más alto y superó estadísticamente al testigo (Figura 2). Es importante señalar que los clones UF-273 y PA-169, destacan como progenitores femeninos ya que su hibridación permite alcanzar altos rendimientos de peso fresco, peso seco e índice de semilla.

En el Cuadro 3, se presenta la incidencia natural de monilia (%) diferenciada por año y el total de los cuatro años, observándose el incremento del promedio a través de los años. La mayor incidencia la mostró el cruzamiento PA-169 * RIM-117 con 73.55% y la menor los cruzamientos recíprocos PA-169 * UF-273 y UF-273 * PA-169 con incidencias menores a 25%. Resultados similares fueron reportados por Pérez (2009), en los clones CATIE R-129 (UF-273 * PA-169) y CATIE R-127 (UF-273 * PA-169). Considerando el promedio total de mazorcas cosechadas en el ensayo, la plantación presentó 42.67% de incidencia de moniliasis. En el total de los híbridos se presentó la incidencia natural de la enfermedad. Los híbridos con incidencia menor a 25% tienen como progenitores a los clones resistentes PA-169 y UF-273 tanto como progenitor femenino y masculino, mientras que los híbridos con incidencia de más de 25% provienen de los cruzamientos con los clones SCA-6, ICS-1, RIM-117 y POUND-7. Arciniegas y Phillips (2006), observaron un comportamiento similar en los genotipos UF-273 y PA-169 de un total de 98 genotipos (entre clones e híbridos) evaluados.

were observed by Arciniegas and Phillips (2006). The average of four cycles expressed in kg ha⁻¹ ranged from 54 to 407 kg ha⁻¹ being hybrid PA-169 * UF-273 who presented the highest value and statistically outperformed the control (Figure 2). It is important to mention that clones UF-273 and PA-169 stand out as female parents as their hybridization allows high yields of fresh weight, dry weight and seed index.

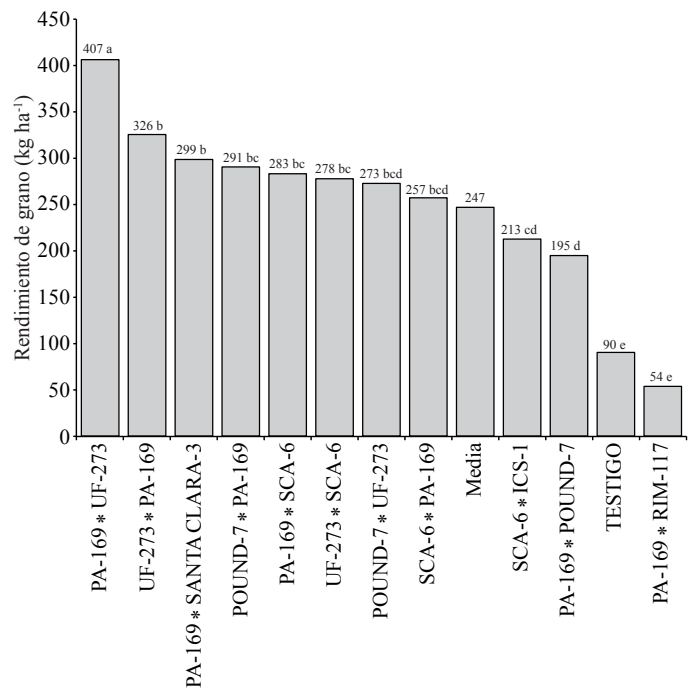


Figura 2. Rendimiento promedio de 32 árboles de 11 familias híbridas y el testigo en cuatro ciclos de producción. Medias con letra diferente en la columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

Figure 2. Average yields of 32 trees from 11 hybrid families and control in four cycles of production. Means with different letter in the column are statistically different (Duncan, $p \leq 0.05$).

Table 3, shows natural incidence of monilia (%) differentiated by year and the total of four years, with an average increase over the years. The highest incidence was in PA-169 * RIM-117 with 73.55% and the lowest reciprocal crosses of PA-169 * UF-273 and UF-273 * PA-169 with incidence lower than 25%. Similar results were reported by Pérez (2009), in clones CATIE R-129 (UF-273 * PA-169) and CATIE R-127 (UF-273 * PA-169). Considering the average total of pods harvested in the trial, plantation showed 42.67% incidence of moniliasis. Natural incidence of the disease was present in all hybrids. Hybrids with an incidence lower than 25%

Cuadro 3. Incidencia natural de monilia (%) en 11 familias híbridas diferenciada por año y el total de la producción durante cuatro ciclos productivos (2009-2012) e incidencia de la moniliasis.**Table 3. Natural incidence of monilia (%) in 11 hybrid families differentiated by year and total production during four cycles (2009-2012) and incidence of moniliasis.**

Familia híbrida	Frutos cosechados					Frutos con monilia					Incidencia (%)				
	2009	2010	2011	2012	Total	2009	2010	2011	2012	Total	2009	2010	2011	2012	Total
PA-169 * UF-273	169	237	564	219	1189	4	17	180	60	261	2.37	7.17	31.91	27.4	21.95
UF-273 * PA-169	151	91	546	179	967	5	4	198	18	225	3.31	4.4	36.26	10.06	23.27
UF-273 * SCA-6	239	166	383	261	1049	12	59	174	79	324	5.02	35.54	45.43	30.27	30.89
Pound-7 * PA-169	121	184	384	221	910	10	50	174	85	319	8.26	27.17	45.31	38.46	35.05
PA-169 * SCA-6	179	152	535	191	1057	45	51	216	62	374	25.14	33.55	40.37	32.46	35.38
PA-169 * Santa Clara-3	53	156	511	284	1004	3	35	223	106	367	5.66	22.44	43.64	37.32	36.55
PA-169 * Pound-7	74	126	291	228	719	4	27	146	110	287	5.41	21.43	50.17	48.25	39.92
Pound-7 * UF-273	82	163	427	278	950	17	83	257	86	443	20.73	50.92	60.19	30.94	46.63
SCA-6 * PA-169	182	145	543	302	1172	23	31	363	149	566	12.64	21.38	66.85	49.34	48.29
SCA-6 * ICS-1	121	145	345	329	940	24	64	229	207	524	19.83	44.14	66.38	62.92	55.74
Testigo	42	60	364	105	571	4	15	307	44	370	9.52	25	84.34	41.9	64.8
PA-169 * RIM-117	6	22	199	170	397	3	6	161	122	292	50	27.27	80.9	71.76	73.55
PA-169 * RIM-117	6	22	199	170	397	3	6	161	122	292	50	27.27	80.9	71.76	73.55
Promedio	118.25	137.25	424.33	230.58	910.42	12.83	36.83	219	94	362.67	13.99	26.7	54.31	40.09	42.67
Desvest	67.21	55.82	114.2	62.36	231.55	12.43	24.26	62.38	49.17	101.05	13.28	13.1	16.83	16.13	15.5
CV (%)	56.83	40.67	26.91	27.04	25.43	96.88	65.86	28.49	52.31	27.86	94.91	49.05	30.99	40.23	36.32

En la Figura 3, se describe la incidencia promedio de monilia de los cuatro ciclos productivos (2009-2012) en 12 familias híbridas. Se encontraron diferencias significativas para esta variable ($p \leq 0.05$). Se observa que las familias conformadas por los cruzamientos SCA-6 * ICS-1 y PA-169 * RIM-117, presentaron los mayores porcentajes de incidencia de la enfermedad en comparación con las familias de los cruzamientos recíprocos PA-169 * UF-273 y UF-273 * PA-169.

Con los registros de incidencia de la enfermedad por familia híbrida se calculó el área bajo la curva (ABCPE) aplicando el método de integración trapezoidal (Campbell y Madden, 1990). La menor área bajo la curva se presentó en las familias de los cruzamientos recíprocos PA-169 * UF-273 y UF-273 * PA-169. El análisis de varianza y comparación de medias para el área bajo la curva del progreso de la enfermedad, indica que existen diferencias significativas entre familias híbridas. (Figura 4). Con estos resultados podemos afirmar que las familias híbridas PA-169 * UF-273 y UF-273 * PA-169 son las que presentan mayor resistencia de campo a la

have as parents the resistant clones PA-169 and UF-273 as well as female and male parent; while hybrids with an incidence over 25% come from crosses with clones SCA-6, ICS-1, RIM-117 and POUND-7. Arciniegas and Phillips (2006) observed a similar behavior in genotypes UF-273 and PA-169 of a total of 98 genotypes (between clones and hybrids) evaluated.

Figure 3, describes average incidence of monilia of four cycles (2009 to 2012) in 12 hybrid families. Significant differences were found for this variable ($p \leq 0.05$). It is observed that families formed by crosses SCA-6 * ICS-1 and PA-169 * RIM-117 had the highest incidence rates of the disease compared with families of reciprocal crosses PA-169 * UF-273 and UF-273 * PA-169.

With records of disease incidence by hybrid family was calculated the area under the disease progress curve (AUDPC) using trapezoidal rule of integration (Campbell and Madden, 1990). The smaller area under the curve was

enfermedad. En general, los valores promedios más altos del área bajo la curva del progreso de la enfermedad, fueron encontrados en los cruzamientos con los clones SCA-6, ICS-1, RIM-117 y POUND-7.

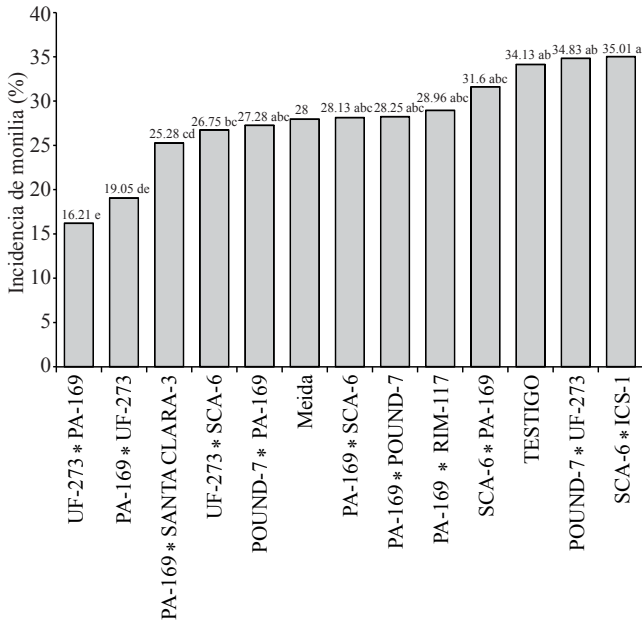


Figura 3. Prueba de medias de incidencia de moniliasis registro de cuatro años (2009-2012). Medias con letra diferente en la columna son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

Figure 3. Means test of incidence of moniliasis recorded for four years (2009-2012). Means with different letter in the column are statistically different (Duncan, $p \leq 0.05$).

De acuerdo con Phillips (1996) y Cervantes *et al.* (2006) se pueden encontrar árboles individuales con baja incidencia de monilia. Esto como consecuencia de cruzamientos entre progenitores resistentes, que permite explotar el carácter poligénico y aditivo. En esta investigación se observó una significativa variación entre plantas híbridas en cuanto a la variable del rendimiento de cacao seco, lo que permitió seleccionar árboles de alta producción. Se realizó una presión de selección de 1.97%. La selección de los mejores individuos por el método de selección individual mostró nueve preselecciones que superan rendimientos de 500 kg ha⁻¹. Los rendimientos variaron de 533 a 1167 kg ha⁻¹ siendo el híbrido RIThe MX11-15 quien presentó el valor más alto, seguido de los híbridos RIThe MX11-21, RIThe MX11-17, RIThe MX11-25 y RIThe MX5-12, quienes obtuvieron valores de 951, 882, 825 y 808 kg ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 4). En cuanto a la incidencia a la enfermedad, se detectaron individuos con porcentajes de afectación menores a 10% e índices de semillas superiores a 1.1 g.

present In families of reciprocal crosses PA-169 * UF-273 and UF-273 * PA-169. Analysis of variance and means comparison for the area under the disease progress curve indicate that there are significant differences between hybrid families (Figure 4). With these results it can be said that hybrid families PA-169 * UF-273 and UF-273 * PA-169 are the ones with greater field resistance to disease. Overall, the highest average values of area under the disease progress curve were found in crosses with clones SCA-6, ICS-1, RIM-117 and POUND-7.

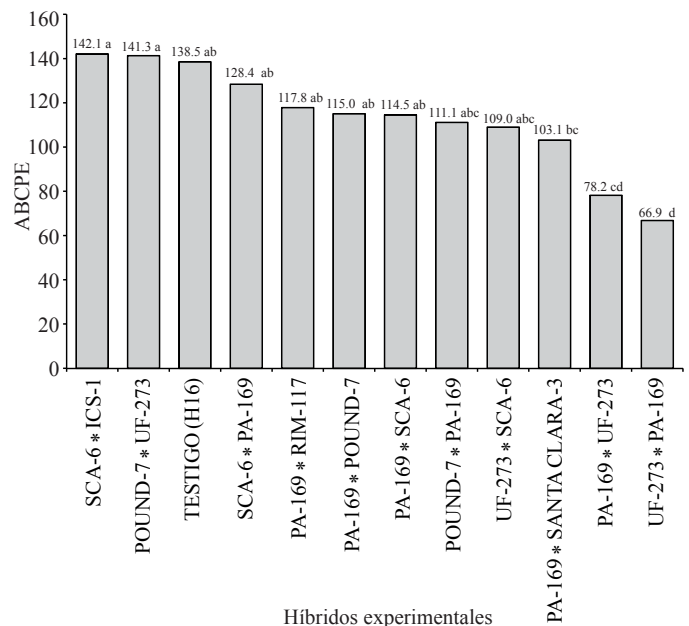


Figura 4. Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) durante cuatro ciclos de evaluación (2009-2012). Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

Figure 4. Area under the disease progress curve (AUDPC) during four cycles of evaluation (2009-2012). Means with different letter are statistically different (Duncan, $p \leq 0.05$).

According to Phillips (1996) and Cervantes *et al.* (2006) individual trees with low incidence of monilia can be found; this as a result of crossings between resistant parents, that allow exploiting polygenic and additive trait. In this study a significant variation between hybrid plants regarding the variable yield of dry cocoa was observed, which allowed to select trees with high production, with a selection pressure of 1.97%. The selection of the best individuals by the individual selection method showed nine preselections that exceed yields of 500 kg ha⁻¹. Yields ranged from 533 to 1167 kg ha⁻¹ being hybrid RIThe MX11-15 who presented the highest value, followed by hybrids RIThe MX11-21, RIThe MX11-17, RIThe MX11-25 and RIThe MX5-12 who obtained values

Cuadro 4. Genealogía, rendimiento de grano seco, incidencia de la moniliasis, e índices de mazorca y semilla de individuos seleccionados en cuatro ciclos productivos (2009-2012).

Table 4. Genealogy, dry grain yield, incidence of moniliasis, pod and seed index of selected individuals during four cycles (2009-2012).

Individuos seleccionados	Genealogía	Rendimiento promedio cuatro ciclos (kg ha ⁻¹)	Incidencia monilia (%)	Índice mazorca	Índice semilla
RIThe MX11-15	UF 273 * PA 169	1167.53	16.44	27.77	1.29
RIThe MX11-21	UF 273 * PA 169	951.17	12.12	28.22	1.18
RIThe MX11-17	UF 273 * PA 169	882.65	7.14	23.38	1.43
RIThe MX11-25	UF 273 * PA 169	825.56	5.77	28.81	1.18
RIThe MX5-12	PA 169 * UF 273	808.29	9.3	26.45	1.17
RIThe MX5-10	PA 169 * UF 273	791.52	4.08	27.95	1.21
RIThe MX5-27	PA 169 * UF 273	788.65	2.48	27.59	1.02
RIThe MX11-07	UF 273 * PA 169	671.12	2.38	36.7	0.98
RIThe MX5-26	PA 169 * UF 273	533.12	18.18	31.85	1.05
Testigo (11)	INIFAP H16	255.01	36.84	26.95	1.11
Media		767.46	11.47	28.57	1.16

Existen muchos métodos para combatir las enfermedades, pero ninguno de ellos es tan eficiente y económico como el uso de genotipos resistentes o tolerantes y de producción rentable bajo presión de enfermedad, las cuales reducen la utilización de productos químicos fomentando una cacaocultura más amigable con el ambiente y económicamente atractiva para los pequeños agricultores (Brenes, 1983; Ebert *et al.*, 2007; Anikwe *et al.*, 2009). El mayor reto al que se enfrenta el sector cacaotero en México lo constituye la moniliasis; enfermedad ya localizada en los dos estados productores de cacao Chiapas y Tabasco. Los métodos de control cultural y químico no son suficientes para el combate de la enfermedad. La alternativa más confiable y económica a corto plazo, consiste en la obtención de clones resistentes a esta enfermedad mediante el mejoramiento genético y su propagación y difusión a los productores para la renovación de plantaciones (Zamarripa *et al.*, 2011). El uso de los progenitores UF-273 y PA-169 permite a través de la hibridación intraespecífica, obtener híbridos con resistencia a *M. royeri* con incidencias menores a 10%. Los híbridos de estos progenitores alcanzan, en presencia severa de monilia, rendimientos que superan en 450% los rendimientos de la variedad testigo.

Conclusiones

En cuatro años de producción se observaron dos cruzamientos con buenas características agronómicas (UF 273 * PA-169 y PA 169 * UF-273), con rendimientos de campo superiores

de 951, 882, 825 and 808 kg ha⁻¹, respectively (Table 4). As for the incidence of disease, individuals with percentages lower than 10% and seed index higher than 1.1 g were detected.

There are many methods to fight disease, but none of them are as efficient and cheap as the use of resistant or tolerant genotypes and profitable production under disease pressure, which reduce the use of chemicals encouraging a cacao culture environmentally friendly and economically attractive for small farmers (Brenes, 1983; Ebert *et al.*, 2007; Anikwe *et al.*, 2009). The biggest challenge facing the industry of cocoa in Mexico is moniliasis; disease found in two producing states of cacao, Chiapas and Tabasco. The cultural and chemical methods of control are not enough to fight the disease. The most reliable alternative and cheap in short-term, is to obtain clones resistant to this disease through breeding and propagation and dissemination to producers for the renewal of plantations (Zamarripa *et al.*, 2011). The use of parents UF-273 and PA-169 allows through intraspecific hybridisation to obtain hybrids with resistance to *M. royeri* with incidences lower than 10%. Hybrids from these parents reach, in presence of severe monilia, yields that exceed 450%, yields from control.

Conclusions

In four years of production, two crosses with good agronomic characteristics (UF 273 * PA-169 and PA 169 * UF-273), with field yields greater than 500 kg of dry cocoa ha⁻¹,

a 500 kg de cacao seco ha⁻¹, equivalente a los rendimientos promedios del país. Los resultados obtenidos indican que existen materiales promisorios que pueden ser futuras variedades de cacao para incrementar los rendimientos y tener resistencia a la moniliasis. Se seleccionaron nueve híbridos promisorios de acuerdo a las variables de producción (kg ha⁻¹), incidencia natural de monilia (%) como características de mayor peso, además se incluyó el índice de semilla. Los híbridos seleccionados poseen como progenitores los clones UF-273 y PA-169 actuando como padres o madres. Los materiales seleccionados tienen características de rendimiento y tolerancia a monilia los cuales constituyen recursos fitogenéticos promisorios para el desarrollo de la cacaocultura mexicana.

Recomendaciones

Se recomienda dar seguimiento en campo a los materiales genéticos promisorios seleccionados y utilizarlos en un programa de propagación masiva para el mejoramiento de las plantaciones de cacao. Continuar con el registro de información con el fin de observar la evolución a través del tiempo de las variables de rendimiento e incidencia de monilia en el mismo sitio de evaluación

Agradecimientos

Los autores(as) desean expresar su agradecimiento a la empresa Nestlé de México S. A. de C. V. por su valioso apoyo para el desarrollo de la investigación de cacao en México.

Literatura citada

- Anikwe, J. C.; Omoloye, A. A.; Aikpokpodion, P. O.; Okelana, F. A. and Eskes, A. B. 2009. Evaluation of resistance in selected cocoa genotypes to the brown cocoa mirid, *Sahlbergella singularis* Haglund in Nigeria. *Crop Protection* 28:350-355.
- Arciniegas, A. y Phillips, M. W. 2006. Caracterización de genotipos superiores de cacao seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE por su rendimiento y/o resistencia a moniliasis. *In: 15 International Cocoa Research Conference: proceedings actes*. San José, Costa Rica. COPAL.1: 21-25.
- Arciniegas, L. A. M. 2005. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) Seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 126 p.

equivalent to average yields in the country were observed. The results indicate that there are promising materials that can be future varieties of cocoa to increase yields and have resistance to moniliasis. Nine promising hybrids were selected according to variables of production (kg ha⁻¹), natural incidence of monilia (%) as the most significant feature, and seed index. Hybrids selected as parents have clones UF-273 and PA-169, acting as fathers or mothers. The selected materials have yield characteristics and tolerance to monilia; which constitute promising phylogenetic resources for the development of Mexican cocoa culture.

Recommendations

It is recommended to monitor in field the promising genetic materials and use them in a program of mass propagation to improve cocoa plantations. To continue recording information in order to observe the evolution over time of yield variables and incidence of monilia in the same test site.

End of the English version



- Bartley, B. G. D. 2005. The genetic diversity of cacao and its utilization. Wallingford, UK: CABI. 341 p.
- Brenes, G. O. E. 1983. Evaluación de la resistencia a *Monilia roleri* y su relación con algunas características morfológicas del fruto de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 60 p.
- Campbell, C. L. and Madden, L. V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. Wiley & Sons. USA. 532 p.
- Castaño, Z.J. 1994. Guía para el diagnóstico de enfermedades en cultivos de importancia económica. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 290 p.
- Cervantes, M. C.; Brow, J. S.; Schnell, R. J.; Phillips, M. W.; Takrama, J. F. and Motomayor, J. C. 2006. Combining ability for disease resistance, yield and horticultural traits of cacao (*Theobroma cacao* L.) clones. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 131(2):231-241.
- Cueto, M. J. 2004. Informe anual 2004 del proyecto de generación de variedades con resistencia genética a la Moniliasis del cacao. INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa. 26 p.
- Cueto-Moreno, J.; Aguirre-Medina, J. F.; Zamarripa-Colmenero, A.; Iracheta-Donjuan, L. y Olivera-De los Santos, A. 2007. El mejoramiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 250 p.
- Ebert, A. W.; Astorga, C.; Ebert, I. C. M.; Mora, A. y Umaña, C. 2007. Asegurando nuestro futuro colecciones de germoplasma del CATIE. Turrialba Costa Rica. Boletín técnico Núm. 26. 204 p.

- Efron, P.; Epaina, P. and Marfu, J. 2006. Guidelines for accelerated clones development (ACD). *In*: Eskes, A.; Efron, Y. (Eds.). Global approaches to cocoa germplasm utilization and conservation final report of the CFC/ICCO/IPGRI project on "Cocoa germplasm utilization and conservation: a global approach" (1998-2004). IPGRI, Rome, Italy. 87-90 pp.
- Efron, Y.; Epaina, P.; Tade, E. and Marfu, J. 2003. The relationship between vigour, yield and yield efficiency of cocoa clones planted at different densities. *In*: international workshop on cocoa breeding for improved production systems. Accra, Ghana. Ingenic. 92-102 pp.
- Enríquez A. G. y Soria A. J. 1984. Mejoramiento genético para resistencia a cinco enfermedades del cacao. Serie materiales de enseñanza. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 28 p.
- Evans, H. C.; Holmes, K. A. and Reid, A. P. 2003. Phylogeny of the frosty pod rot pathogen of cocoa. *Plant Pathol* 52:476-485.
- Gonzales, L. C. and Vidal, V. E. 1992. Evaluación de la reacción a moniliasis en clones e híbridos de cacao en Río Frío Costa Rica. *Agron. Costarric.* 16(1):1322
- International Plant Genetic Resources Institute, FR (IPGRI). 2000. Working procedures for cocoa germoplasm evaluation and selection. Proceedings of the CFC/ICCO/IPGRI project Workshop 1998. Montpellier, F. R. (Ed.). Eskes, A. B.; Engels, J. M. M. and Lass, R. A. 176 p.
- Jacob, V. J. and Atanda, O. A. 1975. Compatibility and fruit setting in *Theobroma cacao* L. *Revista Theobroma (Brasil)*. 5(2):12-18.
- Ogata, N. 2007. El cacao. *Biodiversitas* 72:1-5.
- Organización Internacional del Cacao, GB (ICCO). 2011. Informe anual 2010/2011 (en línea). Londres, Reino Unido. ICCO. 48 p.
- Pereira, J. L. 1999. Renewed advanced of witches broom disease of cocoa: 100 years later. *In*: International cacao research conference. 12th Salvador, Bahia, Brasil, 1996. Proceedings. "Lagos, Nigeria, cocos producers". Alliance. 87-91. pp.
- Pérez, Z. J. 2009 Evaluación y caracterización de selecciones clonales de cacao (*Theobroma cacao* L.) del Programa de Mejoramiento del CATIE. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 164 p.
- Phillips, M. W.; Aime, M. C. and Wilkinson, M. J. 2007. Biodiversity and biogeography of the cacao (*Theobroma cacao*) pathogen *Moniliophthora roreri* in tropical America. *Plant Pathol.* 56: 911-922.
- Phillips, M. W.; Coutiño, A.; Ortiz, G. F.; López, A. P.; Hernández, J. and Aime, M. C. 2006. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in Mexico. *Plant Pathol.* (55):584.
- Phillip, M. W.; Castillo, J.; Krauss, U.; Rodríguez, E. and Wilkinson, M. J. 2005. Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombian isolates of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. *Plant Pathol.* 54:483-490.
- Phillips, M. W. 2003. Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the cacao (*Theobroma cacao* L.) fungus *Moniliophthora roreri* (Cif.). As determined using molecular, phytopathological and morpho-physiological evidence. Thesis University of Reading. London England. 349 p.
- Phillips, M. W. 1996. Investigaciones en cacao realizadas recientemente en el CATIE. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 19 p.
- Pinzón, U. J. O. y Rojas, A. J. 2008. Guía técnica para el cultivo del cacao. Tercera (Ed.). Bogotá, Colombia. Fedecacao. 189 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Cierre de la producción agrícola por estado. SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado>.
- Solís, B. J. L.; Ruíz, C. P. A. y Zamarripa, C. A. 2009. Mejoramiento genético para resistencia, rendimiento y calidad agroindustrial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en México. *In*: Memoria XLV Reunión Nacional de Investigación Agrícola y Forestal. Saltillo, Coahuila, México. 142 p.
- Solís, B. J. L. y Zamarripa, C. A. 2010. Evaluación agronómica de genotipos élite de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas. *In*: Memoria XII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma Chapingo (UACH) Chapingo, Estado de México. 276 p.
- Soria, V. J. 1966. Obtención de clones de cacao por el método de índices de selección. Turrialba, Costa Rica (IICA). 16(2):119-124.
- Tahi, G. M.; N'Goran, J. A. K.; Sounigo, O.; Lachenaud, P. and Eskes, A. B. 2007. Efficacy of simplified methods to assess pod production in cocoa breeding trials. *Newsletter* 11:7-11. <http://ingenic.cas.psu.edu/documents/publications/News/11.pdf>.
- USAID. 2007. Informe de evaluación de plaguicidas y plan de acción para su uso más seguro (PERSUAP). Bogotá, Colombia. 686 p.
- Zamarripa, C. A.; Solís, B. J. L. y Hernández, G. E. 2011 Comportamiento agronómico de descendencias híbridas de cacao con resistencia a moniliasis. Publicación INIFAP. 39 p.
- Zamarripa, C. A. y Solís, B. J. L. 2009. Comportamiento de híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) resistentes a moniliasis en el estado de Chiapas. *In*: Memoria 55 Reunión Anual de la Sociedad del PCCMCA. San Francisco de Campeche, México. 127 p.