

POTENCIAL SANITARIO Y PRODUCTIVO DE 12 CLONES DE CACAO EN ECUADOR

SANITARY AND PRODUCTIVE POTENTIAL OF 12 CLONES OF COCOA IN ECUADOR

Fernando D. Sánchez-Mora^{1,2*}, S. Mariela Medina-Jara¹, Gorki T. Díaz-Coronel¹, Rommel A. Ramos-Remache¹, Jaime F. Vera-Chang¹, Vicente F. Vásquez-Morán¹, Fidel A. Troya-Mera¹, Felipe R. Garcés-Fiallos¹ y Rubens Onofre-Nodari³

¹Dirección de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad Técnica Estatal de Quevedo - UTEQ, Km. 1 ½ vía Santo Domingo de los Tsáchilas, Avenida Quito, Casilla postal 73, Quevedo, Los Ríos, Ecuador. ²Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Campus Experimental La Teodmira, Km. 13 ½ vía Santa Ana, Manabí, Ecuador. ³Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Admar Gonzaga, Bairro Itacorubi, 1346, CEP: 88.034-001, Florianópolis - SC, Brasil.

*Autor para correspondencia (fernandosanchezm23@hotmail.com)

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los principales cultivos de importancia económica en el Ecuador, principalmente para los pequeños y medianos agricultores del litoral. Sin embargo, las enfermedades fúngicas reducen el rendimiento de este cultivo. Durante los años 2008 a 2011 se evaluó en las localidades Quevedo y Tenguel, el comportamiento de 10 clones experimentales de cacao tipo Nacional con el objetivo de seleccionar los de mayor productividad y tolerancia a dos enfermedades: moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), en comparación con dos testigos comerciales (EET-103 y CCN-51). El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglos factorial, con cuatro repeticiones. Se registró el número de escobas de bruja vegetativas, porcentaje de mazorcas enfermas, número de mazorcas sanas y totales, así como el rendimiento de almendras secas de cacao. El clon comercial CCN-51 presentó la menor incidencia de enfermedades, así como la mayor producción de mazorcas sanas y rendimiento promedio de almendras (1047.7 kg ha⁻¹). Cuatro clones experimentales presentaron características deseables: L46-H57 con una mayor producción de mazorcas sanas y totales, L21-H43, L46-H57 y L46-H88 con un rendimiento de almendras superior a 550 kg ha⁻¹, L18-H58 con el menor número de escoba de bruja (7.3), y L21-H43 con la menor incidencia de mazorcas enfermas (37.0 %). Estos clones pueden ser utilizados en programas de mejoramiento y conservación. La incidencia de enfermedades fúngicas y el rendimiento de almendras secas de cacao fueron mayores en Quevedo que en Tenguel.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, *Moniliophthora perniciosa*, *Moniliophthora roreri*, producción de cacao.

SUMMARY

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is one of the main crops of economic importance in Ecuador since small and medium farmers on the coast rely on this income. However, fungal diseases decrease yield. In this research 10 experimental cocoa clones of National type and two commercial control varieties (EET-103 and CCN-51) were evaluated from 2008 to 2011, at plantations located in Quevedo and Tenguel. The objective of this research was to identify disease tolerant clones to frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) and witches' broom (*Moniliophthora perniciosa*), while maintaining high production levels. Experimental design was a randomized complete blocks in a factorial arrangement with four replications. Variables measured were number of branches showing witches' broom per tree; percentage of diseased

pods; number of healthy pods; total number of pods; and yield of dried cacao almonds (kg ha⁻¹). Commercial clone CCN-51 exhibited the lowest incidence of diseases and the highest production of healthy pods and average almond yield (1047.7 kg ha⁻¹). Four experimental clones showed desirable traits: L46-H57 had the highest number of healthy pods and total pod number; L21-H43, L46-H57 and L46-H88 yielded more than 550 kg ha⁻¹ of almonds; L18-H58 presented fewer number of witches' broom (7.3), and L21-H43 had the lowest incidence of diseased pods (37.0 %). These clones might be used for breeding programs and genetic conservation. The Quevedo location showed higher incidence of fungal diseases and yield of dry cocoa beans than Tenguel.

Index words: *Theobroma cacao*, *Moniliophthora perniciosa*, *Moniliophthora roreri*, Cocoa production.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los principales cultivos comerciales en varios países tropicales. En América, 15 % de la producción mundial se concentra en el centro y sur del continente, donde Brasil y Ecuador son los mayores productores (Quintero y Díaz, 2004). En el Ecuador, el cacao es un cultivo de interés económico para los agricultores de las provincias de Los Ríos y del Guayas, cuyas almendras son de gran atractivo en los mercados internacionales por ser un producto de calidad denominado "fino de aroma". El rendimiento promedio comercial estimado es 300 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Quiroz y Amores, 2002), inferior al promedio mundial de 480 kg ha⁻¹ año⁻¹. Estos bajos rendimientos, posiblemente se atribuyan a la edad avanzada de las plantaciones, deficiente e inadecuado manejo agronómico, así como a la incidencia de enfermedades fúngicas.

En América Latina este cultivo atraviesa por un grave problema por la diseminación de enfermedades potencialmente peligrosas (Ramírez, 2008). Las enfermedades más devastadoras son la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*; Aime y Phillips-Mora, 2005) y la moniliasis (*Moniliophthora roreri* (Cif y Par); Evans *et al.*, 1978), pertenecientes a la familia *Marasmiaceae* (Aime y Phillips-Mora, 2005);

estos patógenos hemibiotróficos son especies de basidiomicetos responsables de importantes pérdidas en la cosecha (Griffith *et al.*, 2003).

La moniliasis es una de las enfermedades más destructivas del cacao, presente en 11 países centro y suramericanos (Aime y Phillips-Mora, 2005). El hongo se encuentra actualmente en una fase de dispersión activa, posiblemente debido a un aumento de diseminación mediada por el hombre (Phillips-Mora y Wilkinson, 2007); ataca especialmente los frutos y puede causar hasta 90 % de pérdidas en el rendimiento (Oliveira y Luz, 2005; Ramírez, 2008). En Colombia ocasiona pérdidas en la producción cercanas a 40 % (Rodríguez, 2006), pérdidas superiores a 50 % en Venezuela (Sánchez *et al.*, 2003), y hasta 80 % en Ecuador y México (Debouck *et al.*, 2008; Sánchez-Mora y Garcés-Fiallos, 2012).

La escoba de bruja es otra enfermedad severa del cacao en América Tropical, donde causa entre 50 y 90 % de pérdidas en la producción (Meinhardt *et al.*, 2008; Almeida *et al.*, 2009), e incluso mayores cuando el patógeno se establece en la plantación (Griffith *et al.*, 2003). En la década de los años 20 del siglo pasado, en el Ecuador esta enfermedad afectó de 60 a 70 % la producción (Meinhardt *et al.*, 2008). En Brasil la enfermedad es el principal problema fitosanitario, con reducciones de hasta 100 % de la producción en algunas zonas rurales (Dantas-Neto *et al.*, 2005). En Venezuela, uno de los factores vinculantes a la reducción de la producción de cacao sería la ocurrencia de esta enfermedad (Quintero y García, 2010).

El establecimiento de plantaciones de cacao con variedades genéticamente tolerantes o resistentes a enfermedades reduce la necesidad de aplicar fungicidas sintéticos, lo que permite que el cultivo sea respetuoso con el medio ambiente y atractivo para los agricultores (Debouck *et al.*, 2008). Los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFAA) son los elementos básicos para mejorar los cultivos a través de la selección y mejoramiento genético convencional acompañados de técnicas modernas de biotecnología (Debouck *et al.*, 2008). Sin embargo, para desa-

rollar variedades resistentes es necesario conocer el potencial de los recursos genéticos disponibles.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento sanitario y productivo de 10 clones experimentales y dos testigos comerciales de cacao en dos zonas del litoral ecuatoriano, a fin de seleccionar los clones de mayor productividad y tolerantes a las enfermedades moniliasis y escoba de bruja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

Durante el año 2004 se establecieron dos ensayos de cacao en el litoral ecuatoriano. El primero, en la Finca Experimental “La Represa”, propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Quevedo, provincia de Los Ríos (79° 30' 23" O y 01° 00' 35" S), ubicada en la parte alta de la cuenca del Río Guayas a 90 m de altitud, con características de bosque húmedo-tropical (bh-T), topografía del terreno irregular, suelo tipo inceptisol, textura franco arcilloso y pH 5.9. El segundo, en la Finca “El Pedregal”, Tenguel, provincia del Guayas (79° 27' 00" O y 03° 00' 00" S), ubicada a una altitud de 10 m, con características de clima cálido-húmedo, topografía de terreno plana, suelo tipo entisol, textura franco arenoso y pH 6.3 (IGM, 1986; Ramlahan *et al.*, 2009). Las condiciones climáticas durante los cuatro años en las dos localidades donde se establecieron los ensayos de cacao se presentan en el Cuadro 1.

Material genético y establecimiento del experimento

Los clones se obtuvieron en el Centro de Cacao Aroma Tenguel-CCAT (uno de los bancos de germoplasma de cacao más importante del país), y provenían de selecciones de árboles que mostraron mayor potencial productivo en estudios realizados durante los años 2002 y 2003. Los árboles están codificados con las las letras L (Línea) y H (Hilera) que indican la posición de la planta original en la colección CCAT. Los árboles seleccionados se clonaron y diez genotipos de cacao tipo Nacional se establecieron en

Cuadro 1. Condiciones climáticas anuales durante los años de evaluación de los clones de cacao en las zonas de Quevedo y Tenguel, en Ecuador.

Condiciones climáticas [†]	Quevedo				Tenguel			
	2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Temperatura promedio (°C)	24.9	25.4	25.2	25.2	23.6	24.8	24.6	24.5
Precipitación (mm)	2230	1399	3032	2000	2063	1094	1947	1139
Humedad relativa promedio (%)	83.0	80.0	84.0	82.0	95.8	92.0	92.0	86.6

[†]Fuente: INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2012). Anuarios Meteorológicos: 2008, 2009, 2010 y 2011. Quito, Ecuador.

campo en cada zona: L11-H19, L18-H58, L21-H38, L21-H43, L26-H64, L29-H04, L46-H57, L46-H75, L46-H88 y L49-H98, además de los clones comerciales EET-103 y CCN-51 (testigos).

Los experimentos se establecieron en el año 2004, en parcelas de 10 plantas por clon, distribuidas en dos hileras, a una distancia de 3.0 x 3.0 m entre plantas (48 parcelas por localidad), con una densidad de 1111 plantas por hectárea. En bordes alrededor del experimento se sembró el clon comercial EET-103. Durante los dos primeros años del cultivo se utilizó como sombra temporal plantas de plátano cv. Dominico (*Musa* AAB) establecidas a una distancia de 6.0 x 6.0 m entre planta.

Manejo del experimento

En cada año las arvenses se controlaron manualmente con dos deshierbas (coronas) previo a la fertilización (inicio y final de la época lluviosa), y mediante la aplicación de paraquat (Gramoxone® NF; 276 g de i.a.) en dosis de 1 L ha⁻¹. Se fertilizó con un abono completo (N, P, K, Mg, S, y B: 18, 6, 22, 3, 4 y 0.53 kg ha⁻¹, respectivamente), al inicio y final de la época lluviosa (enero y mayo), en dosis de 400 g por planta. Se efectuaron también podas sanitarias al final de la época seca. Además, mensualmente se eliminaron chupones (brotes basales provenientes del patrón de injerto), y las heridas ocasionadas por esta práctica se cubrieron inmediatamente con pasta bordelesa (cal y óxido de cobre, en relación 1:3). Durante la época seca (julio - diciembre), se irrigó cada mes por surcos.

Variables registradas

Las evaluaciones de las variables de sanidad y de rendimiento se realizaron desde el año 2008 hasta el 2011 en cada parcela: 1) Número de escobas de bruja vegetativas por planta: El registro y posterior remoción de escobas se efectuó solamente en julio de 2010 y 2011, pues el ciclo de esta enfermedad es predominantemente anual o monocíclico dentro de un año, y poliético a través de varios años, lo que determina la práctica anual de remoción de escobas (Tovar *et al.*, 1991); 2) Incidencia de mazorcas enfermas: Consistió en el recuento y remoción mensual de mazorcas por planta con presencia de signos de moniliasis (*M. roseri*), escoba de bruja (*M. pernicioso*) y fitóptora (*Phytophthora spp.*) en cada cosecha (Figura 1); posteriormente se calculó el porcentaje de mazorcas enfermas por cada clon; 3) Mazorcas sanas: Frutos de cacao asintomáticos en estado de madurez fisiológica se removieron y contaron mensualmente; 4) Mazorcas totales: Se sumó el número de mazorcas sanas y enfermas por planta de cada clon; 5) Rendimiento de almendras secas de cacao (kg ha⁻¹): Se calculó multiplicando el peso fresco anual de las almendras en cada clon por 0.40

(factor de conversión para obtener el peso seco). Para obtener el valor de peso fresco, se pesaron mensualmente las almendras frescas extraídas de mazorcas sanas.

Diseño experimental y análisis estadístico

Los clones, las localidades y los años se evaluaron en un arreglo factorial (12 x 2 x 4) con base en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Previo al análisis de varianza (ANOVA) se realizaron las pruebas de Bartlett y de Shapiro-Wilk, para verificar la existencia de homocedasticidad (varianzas) y normalidad (residuos), respectivamente. Los análisis se hicieron con el paquete libre R Development Core Team (2013). Se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$) para las comparaciones de medias entre clones de cacao, localidades y años de evaluación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de sanidad

En la variable número de escobas de bruja vegetativas, hubo diferencias ($P < 0.01$) para clones, localidades y años (Cuadros 2 y 3). El clon comercial CCN-51 registró el menor número de escobas por planta (4.7 escobas), mientras que el L49-H98 registró el mayor número (19.0 escobas). Entre los materiales experimentales los clones que presentaron el menor número de escobas (entre 7.3 y 11.2) fueron L18-H58, L46-H75, L46-H57, L26-H64 y L21-H43 (Cuadro 3). Aunque las accesiones son diferentes, la variación en la incidencia de esta variable fue similar a la reportada por Almeida *et al.* (2009), quienes al evaluar 140 accesiones de cacao en Rondônia, Brasil, observaron que el clon CAB383 no manifestó escobas de bruja mientras que el clon CAB261 presentó 20.5 ramas infectadas.

En la zona de Quevedo se registró la menor incidencia promedio de escobas de bruja (10.1 escobas), en comparación con Tenguel (12.8 escobas) (Cuadro 3). Aunque ambas zonas presentaron condiciones idóneas (humedad relativa superior a 80 %) para la proliferación de esta enfermedad, la diferencia en la incidencia podría atribuirse a la posible presencia de cepas diferentes de *M. pernicioso* en las zonas estudiadas, o la interacción entre cepas y condiciones ambientales. En Ecuador y Colombia se han reportado la existencia de varias cepas de *M. pernicioso* (Evans, 1978; Osorio-Solano *et al.*, 2012). Los índices elevados de escoba de bruja pueden ser también consecuencia de la inadecuada remoción de la fuente de inóculo (Carvalho *et al.*, 2001). Este inóculo podría haber inducido un aumento de la incidencia de esta enfermedad en la zona de Tenguel.

En el año 2011 se observó mayor incidencia del número de escobas de bruja vegetativas (13.6 escobas) en comparación

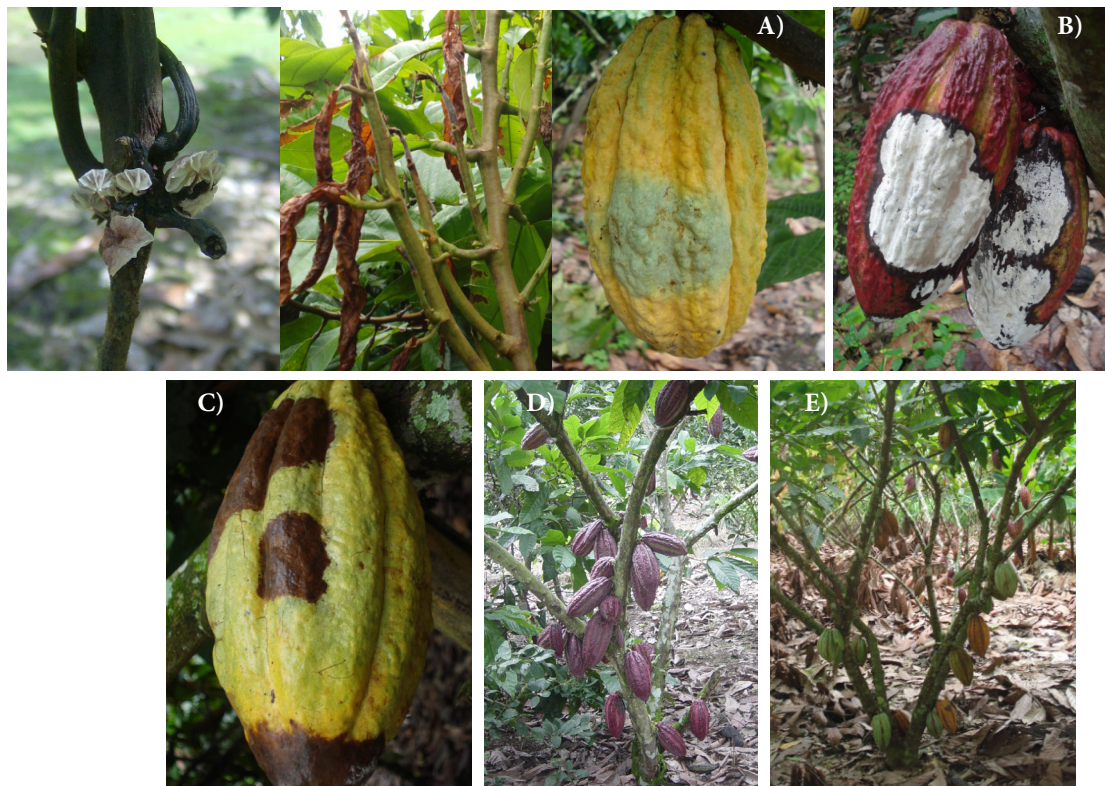


Figura 1. Síntomas de enfermedades y plantas de cacao. A) Basidiocarpos, rama vegetativa y mazorca infectada por escoba de bruja (*Moniliophthora perniciososa*); B) Frutos con síntomas característicos de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) con crecimiento micelial; C) Mazorca infectada por fitóptora (*Phytophthora spp.*); D) Clones CCN-51 y E) L46-H57 con mazorcas sanas.

con el año 2010 (9.3 escobas) (Cuadro 3). Los factores climáticos, como la temperatura y humedad relativa, influyen en el desarrollo de las enfermedades en el cacao (Miranda *et al.*, 1994). Probablemente la elevada precipitación y la alta humedad relativa del año 2010 (Cuadro 1) favorecieron la proliferación, desarrollo y mayor producción de basidiocarpos de *M. perniciososa* en el siguiente ciclo de producción. En Rondônia, Almeida *et al.* (2009) observaron un incremento de escobas de bruja en el año 2003 que atribuyeron a las elevadas precipitaciones del año anterior. Por otro lado, en la región de Camacan, Brasil, Pereira *et al.* (1996) observaron que este patógeno fue extremadamente agresivo en términos de desarrollo y número de escobas por árbol debido a la alta producción de basidiocarpos, atribuida a los frutos enfermos que se habían cortado y dejado al descubierto en el suelo.

En la variable porcentaje de mazorcas enfermas hubo diferencias significativas ($P < 0.01$) para clones, localidades y años (Cuadros 2 y 3). El clon comercial CCN-51 presentó el menor porcentaje de mazorcas enfermas (34.4 %), mientras que el clon experimental L26-H64 tuvo el mayor porcentaje (49.7 %). Los clones experimentales L21-H43, L29-H04, L46-H57, L46-H88, L21-H38, L49-H98 y L46-

H75 presentaron porcentajes que variaron entre 37.0 y 44.8 %. En Colombia la superioridad del clon CCN-51 ha sido demostrada mediante estudios con inoculaciones artificiales de *M. roreri* sobre frutos de cacao. Rodríguez (2006), al emplear índices de severidad interna (ISI) y externa (ISE), clasificó a los clones de acuerdo con los síntomas y signos observados sobre el fruto inoculado, e identificó al CCN-51 como moderadamente susceptible. Mediante estudios similares, Jaimes *et al.* (2011) clasificaron este clon como resistente por tener baja incidencia de mazorcas enfermas.

En la zona de Quevedo se registró mayor incidencia de mazorcas enfermas (46.1 %) que en Tenguel (40.3 %) (Cuadro 3). Esto se puede atribuir a las mayores precipitaciones registradas en Quevedo (Cuadro 1), lo que propició condiciones más favorables para el patógeno. Además, puede existir una diferencia de virulencia entre aislados y en la variabilidad genética del patógeno (Phillips-Mora *et al.*, 2007). Por ejemplo, Villavicencio y Jiménez (2010) observaron variaciones en el crecimiento de las colonias y peso de micelio entre 50 aislados de *M. roreri* colectados en el litoral ecuatoriano. Estos mismos autores encontraron que 80 % de los aislados procedentes de la provincia de Los Ríos presentaron una mayor velocidad de crecimiento en medio

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables sanitarias y productivas evaluadas entre 2008 y 2011, en las zonas de Quevedo y Tenguel, en Ecuador.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados medios				
		NEB	%ME	NMS	NMT	REND
Tratamiento	95	148**	863**	62**	137**	270,478**
Bloque	3	119*	604**	75**	291**	492,683**
Clon (F1)	11	231**	578**	165**	271**	1,239,673**
Localidad (F2)	1	339**	3218**	141**	1804**	305,405*
Año (F3)	3 (1)	873**	17,765**	473**	133*	1,070,271**
Clon x Localidad	11	65*	202*	76**	270**	163,403**
Clon x Año	33 (11)	58 ns	146 ns	30**	74**	124,505**
Localidad x Año	3 (1)	873**	2632**	8 ns	187**	290,939**
Clon x Localidad x Año	33 (11)	87**	126 ns	20 ns	57*	53,452
Error	285 (141)	35	100	16	35	60,708

**significativo a $P < 0.01$; *significativo a $P < 0.05$; ns = no significativo; GL = grados de libertad, los números entre paréntesis corresponde a los grados de libertad del ANOVA para la variable número de escobas de bruja. NEB = número de escobas de bruja vegetativas; %ME = porcentaje de mazorcas enfermas; NMS = número de mazorcas sanas; NMT = número de mazorcas totales; REND = rendimiento estimado de cacao seco en kg ha^{-1} .

sólido. Esto podría explicar que además de las condiciones climáticas, el crecimiento del hongo en la zona de Quevedo es más rápido y puede ser más agresivo, características que ocasionan una mayor incidencia de la enfermedad.

Durante el año 2008 se observó mayor porcentaje de mazorcas enfermas (63.5 %) que en los tres años subsecuentes (36.4 %, en promedio) (Cuadro 3), probablemente debido a la mayor cantidad de inóculo presente en el ciclo anterior al primer año de esta evaluación. Adicionalmente, más que las condiciones ambientales estos promedios fueron el resultado del manejo agronómico (podas oportunas) que pudo darse al ensayo, ya que en los años 2009, 2010 y 2011 el porcentaje de mazorcas enfermas fue menor, a pesar de que en el año 2010 la precipitación fue mayor (Cuadro 1), factor que seguramente propició el aumento de la incidencia. En plantaciones ubicadas en zonas húmedas, con poca tecnificación y sin un manejo adecuado, es frecuente observar pérdidas superiores a 90 % (Ramírez, 2008).

En las variables sanitarias número de escobas de bruja vegetativas y porcentaje de mazorcas enfermas, las interacciones clones x localidades ($P < 0.05$) y localidades x años ($P < 0.01$) fueron significativas (Cuadro 2; Figura 2). Los clones L11-H19, L18-H58, L21-H43, L26-H64, L46-H57, L46-H75, L46-H88 y CCN-51 presentaron menores valores de escobas de bruja en Quevedo que en Tenguel. Los clones L21-H38, L29-H04 y L49-H98 presentaron un comportamiento similar en ambas localidades. Los genotipos CCN-51 y L18-H58 registraron una menor incidencia en relación al resto. La ocurrencia de escoba de bruja se incrementó notablemente en el año 2011 en la zona de Quevedo

(Figura 2). Posiblemente la presión mayor de inóculo de *M. pernicioso* asociadas con las características ambientales de cada agroecosistema sea importante en el ataque del hongo.

Los clones CCN-51 y L21-H43 presentaron un comportamiento análogo en las dos localidades, inferior a los demás clones que registraron una incidencia elevada de enfermedades en las mazorcas. La mayor incidencia de mazorcas enfermas ocurrió en el año 2008 en ambas localidades. En los años 2008 y 2011 hubo mayor incidencia de frutos enfermos en Quevedo que en Tenguel, ya que en 2009 y 2010 la incidencia de frutos enfermos fue similar en ambas localidades. El comportamiento diferencial de los clones en las dos localidades durante los años, probablemente fue influenciado por las condiciones agroclimáticas de las zonas en estudio (Figura 2).

El clon comercial CCN-51 destacó por ser el más tolerante a las enfermedades, por lo que es un material promisorio para nuevos estudios de mejoramiento por resistencia de enfermedades (Figura 1). Los resultados también muestran que el cacao presenta variabilidad genética para ambas variables de sanidad; sin embargo, es importante estudiar los mecanismos de resistencia que operan.

Variabes de rendimiento

Tanto el número de mazorcas sanas por planta como el número de mazorcas totales presentaron diferencias significativas ($P < 0.01$) para clones, localidades y años (Cuadros 2 y 3). En el promedio de años y localidades (Cuadro 3), el clon comercial CCN-51 y el clon experimental

Cuadro 3. Valores promedios de las variables sanitarias y productivas evaluadas entre 2008 y 2011, en las zonas de Quevedo y Tenguel, en Ecuador.

Factores	Variables				
	Sanitarias		Productivas		
	NEB	%ME	NMS	NMT	REND
P para Factor 1 (clones)	**	**	**	**	**
L11-H19	13.5 abc	45.3 ab	7.7 cd	13.7 cd	443.5 b
L18-H58	7.3 cd	47.5 ab	9.5 bc	17.8 abc	467.0 b
L21-H38	12.5 abc	44.0 abc	8.8 bcd	16.6 bc	454.1 b
L21-H43	11.2 bcd	37.0 cd	10.7 bc	17.2 bc	587.4 b
L26-H64	11.0 bcd	49.7 a	5.5 d	11.1 d	203.4 c
L29-H04	15.1 ab	40.6 bcd	8.3 bcd	13.7 cd	504.7 b
L46-H57	9.9 bcd	41.3 bcd	11.2 ab	18.9 ab	589.5 b
L46-H75	9.0 bcd	44.8 abc	8.8 bc	16.6 bc	407.7 b
L46-H88	14.3 ab	43.9 abc	10.3 bc	17.9 abc	554.6 b
L49-H98	19.0 a	44.2 abc	7.9 bcd	14.9 bcd	449.9 b
EET-103	9.7 bcd	45.2 abc	7.9 cd	14.8 bcd	437.6 b
CCN-51	4.7 d	34.4 d	14.5 a	22.2 a	1047.7 a
P para Factor 2 (localidades)	**	**	**	**	*
Quevedo	10.1 b	46.1 a	9.9 a	18.4 a	540.5 a
Tenguel	12.8 a	40.3 b	8.7 b	14.1 b	484.1 b
P para Factor 3 (años)	**	**	**	*	**
2008	-	63.5 a	6.1 b	16.7 ab	361.4 b
2009	-	36.7 b	11.0 a	17.5 a	557.1 a
2010	9.3 b	36.9 b	9.5 a	14.7 b	526.3 a
2011	13.6 a	35.5 b	10.5 a	16.3 ab	604.3 a
CV (%)	51.7	23.2	43.8	36.4	48.1

Promedios con letras distintas en una columna dentro del mismo factor indican diferencias estadísticas (Tukey, 0.05). *, ** efectos significativos con $P \leq 0.05$. NEB = número de escobas de bruja vegetativas; % ME = porcentaje de mazorcas enfermas; NMS = número de mazorcas sanas; NMT = número de mazorcas totales; REND = rendimiento estimado de cacao seco, en kg ha^{-1} .

L46-H57 presentaron los mayores promedios de mazorcas sanas (14.5 y 11.2, respectivamente) y totales (22.2 y 18.9) por planta (Figura 1). El clon experimental L26-H64 registró los menores valores (5.5 y 11.1). Los demás clones presentaron valores intermedios sin diferencia estadística entre ellos.

En Costa Rica, González y Vega (1992) evaluaron 36 materiales de cacao y observaron rendimientos de 10 a 14 mazorcas sanas por planta en clones experimentales. Sin embargo, al evaluar 20 híbridos de cacao en Brasil, Carvalho *et al.* (2001) reportaron que el genotipo SCA 6 x ICS 1 produjo 49.4 mazorcas sanas por planta. El número de mazorcas totales en esta investigación fueron inferiores a los de Dias y Kageyama (1996), quienes evaluaron 25 genotipos de cacao

y encontraron valores entre 30.0 y 41.4 mazorcas totales por planta en clones e híbridos de cacao, respectivamente.

En promedio de los 12 clones y los cuatro años de evaluación, en la zona de Quevedo se registraron los mayores números de mazorcas sanas y totales con 9.9 y 18.4 mazorcas, respectivamente, en comparación con Tenguel que presentó valores de 8.7 y 14.1 (Cuadro 3). Estos resultados están directamente relacionados con las condiciones climáticas de la zona y la interacción genotipo x ambiente.

En el año 2008 hubo menos mazorcas sanas por planta (6.1), posiblemente debido a que las plantas estaban iniciando su ciclo productivo. En los años siguientes la producción se estabilizó (promedio de 10.3 mazorcas sanas por

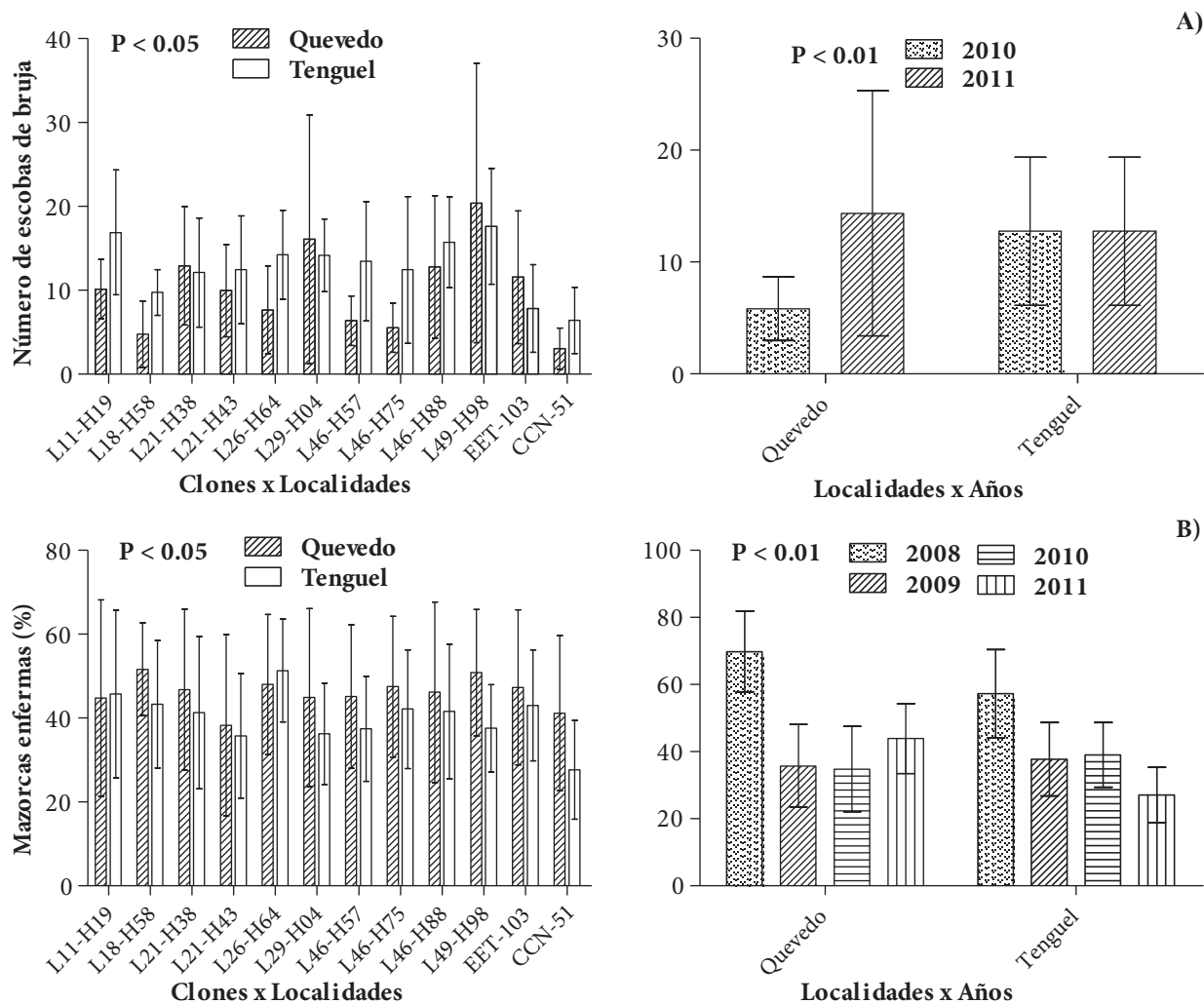


Figura 2. Interacciones entre las variables clones, localidades y años en las variables sanitarias. (A) Número de escobas de bruja; (B) Incidencia de mazorcas enfermas en 12 clones de cacao en las zonas de Quevedo y Tenguel. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar de la media.

planta). El menor número de mazorcas totales (14.7) fue en el año 2010, aunque en el año anterior se produjo el mayor número (17.5) (Cuadro 3). Una de las hipótesis a demostrar es la relación entre el mal desempeño de los clones con las altas precipitaciones, como las que encontramos durante este estudio.

En el número de mazorcas sanas por planta las interacciones clones x localidades y clones x años fueron significativas ($P < 0.01$) (Cuadro 2; Figura 3), sin embargo, la interacción localidades x años no fue significativa. En el número de mazorcas totales las tres interacciones fueron significativas ($P < 0.05$ y $P < 0.01$). El comportamiento diferencial significativo de los clones para el número de mazorcas sanas, que es la variable que más influye en la producción de cacao, se manifestó en el clon L26-H64 cuya tendencia fue a decrecer con los años, en contraste con los clones L21-H43,

L46-H57 y CCN-51 que incrementaron su rendimiento. El clon CCN-51 fue el más destacado en ambas localidades en cuanto al número de mazorcas sanas. Los clones experimentales L21-H43 y L46-H57 registraron un comportamiento estable (Figura 3).

En el rendimiento de almendras secas de cacao se registraron diferencias estadísticas ($P < 0.01$) para clones, localidades y años (Cuadros 2 y 3). Se observó una amplia variación en el rendimiento, donde en promedio de cuatro años y dos localidades el clon comercial CCN-51 fue el de mayor rendimiento de cacao seco ($1047.7 \text{ kg ha}^{-1}$) y el clon experimental L26-H64 obtuvo el menor (203.4 kg ha^{-1}). Los clones experimentales L21-H43, L46-H57 y L46-H88 registraron rendimientos superiores a 550 kg ha^{-1} (Cuadro 3). Estos resultados concuerdan con los de Ramlachan *et al.* (2009), quienes al evaluar 12 genotipos de cacao durante

cuatro años en cinco zonas del litoral ecuatoriano encontraron que el clon CCN-51 registró la mayor producción de cacao seco (1301.1 kg ha⁻¹).

El mayor rendimiento de almendras de cacao (540.5 kg ha⁻¹) se registró en Quevedo, en comparación con Tenguel (484.1 kg ha⁻¹) (Cuadro 2). Por otro lado, en el año 2008 se obtuvieron rendimientos bajos en comparación a los otros años evaluados, debido seguramente a que las plantas iniciaban su ciclo de producción.

Las interacciones clones x localidades, clones x años y localidades x años fueron significativas (P < 0.01), lo que muestra que los clones presentan un comportamiento diferencial a través de los años (Cuadro 2; Figura 4). El clon comercial CCN-51 fue superior en las dos localidades y presentó un incremento significativo a partir del año 2009. El clon experimental L21-H43 también incrementó su rendimiento a través de los años, aunque no significativamente. El resto de clones mantuvo baja su producción de cacao seco. En la zona de Quevedo el rendimiento de los clones de cacao se incrementó a través de los años de evaluación (Figura 4).

Si bien el clon comercial CCN-51 presentó la menor incidencia de enfermedades, mayor producción de mazorcas sanas y rendimiento de almendras, este tipo de cacao carece de propiedades organolépticas. En contraste, el cacao tipo Nacional es reconocido en los mercados internacionales como “Sabor Arriba” apetecido por las grandes industrias a nivel mundial. Por esta razón, los clones experimentales de cacao tipo Nacional: L18-H58, L21-H43, L46-H57

y L46-H88 son más recomendables para ser utilizados en programas de mejoramiento genético en el país.

CONCLUSIONES

El clon comercial CCN-51 presentó la menor incidencia de escoba de bruja y porcentaje de mazorcas enfermas. Los clones experimentales L18-H58 y L21-H43 registraron el menor número de escobas de bruja y menor incidencia de enfermedades, respectivamente, por lo que se consideran promisorios para programas de mejoramiento genético por su resistencia a la escoba de bruja y moniliasis.

En la zona de Quevedo, importante región para la producción comercial de cacao, se obtuvieron los mayores rendimientos de las variables de rendimiento y una alta incidencia de enfermedades fúngicas en las mazorcas. Esta zona es importante para llevar a cabo investigaciones y selección de genotipos con resistencia genética a enfermedades.

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Bolsa Nacional de Productos Agropecuarios (CBNPA) y al Sr. Luis Simbala, por su colaboración en este proyecto en la Finca “El Pedregal”.

BIBLIOGRAFÍA

Aime M. C. and W. Phillips-Mora (2005) The causal agents of witches’ broom and frosty pod rot of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) form a new lineage of Marasmiaceae. *Mycologia* 97:1012-1022.

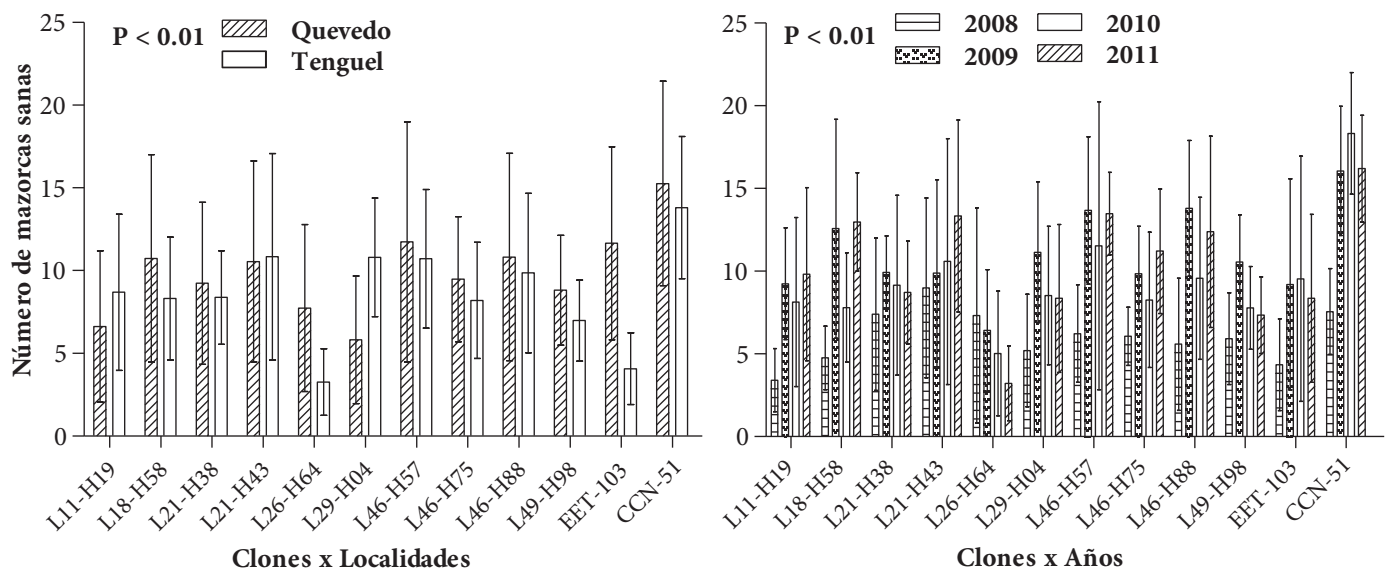


Figura 3. Interacciones entre las variables clones, localidades y años en el número de mazorcas sanas en 12 clones de cacao en las zonas de Quevedo y Tenguel. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar de la media.

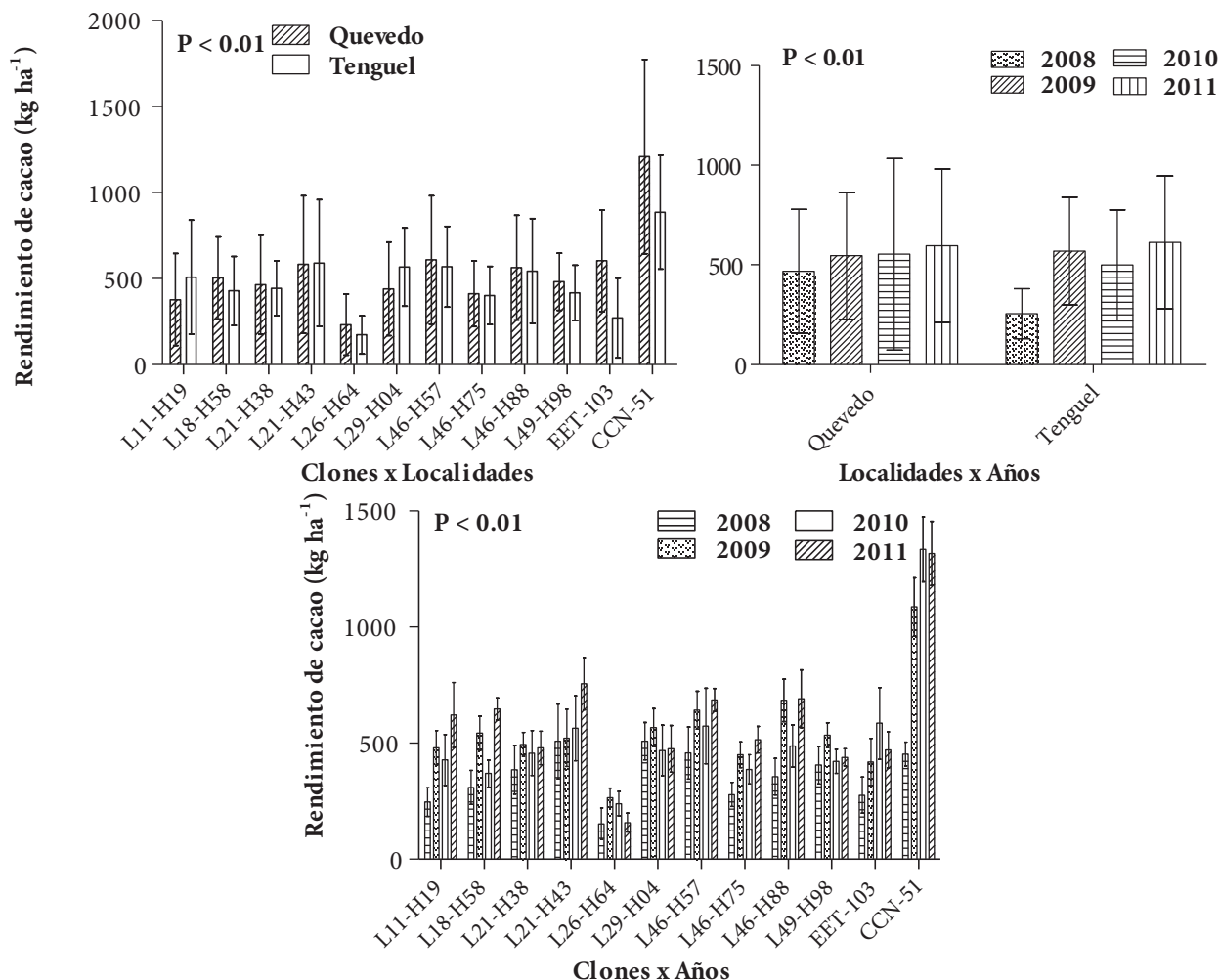


Figura 4. Interacciones entre las variables clones, localidades y años en el rendimiento de almendras secas de cacao (kg ha⁻¹) en 12 clones de cacao en las zonas de Quevedo y Tenguel. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar de la media.

- Almeida C. M. V. C., L. A. S. Dias e A. P. Silva (2009) Caracterização agrônômica de acessos de cacau. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44:368-373.
- Carvalho C. G. P., C. M. V. C. Almeida, C. D. Cruz e P. F. R. Machado (2001) Avaliação e seleção de híbridos de cacau em Rondônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36:1043-1051.
- Dantas-Neto A., R. X. Corrêa, W. R. Monteiro, E. D. M. N. Luz, K. P. Gramacho e U. V. Lopes (2005) Caracterização de uma população de cacau para mapeamento de genes de resistência à vassoura-de-bruxa e podridão parda. *Fitopatologia Brasileira* 30:380-386.
- Debouck D., A. Ebert, E. Peralta, M. Barandiarán y M. Ramírez (2008) La importancia de la utilización de la diversidad genética vegetal en los programas de investigación agrícola en América Latina. *Recursos Naturales y Ambiente* 53:46-53.
- Dias L. A. S. and P. Y. Kageyama (1996) Combining-ability for cacao (*Theobroma cacao* L.) yield components under southern Bahia conditions. *Theoretical and Applied Genetics* 90:534-541.
- Evans H. C. (1978) Witches' broom disease of cocoa (*Crinipellis perniciosa*) in Ecuador. I. The fungus. *Annals of Applied Biology* 89:185-192.
- Evans H. C., J. A. Stalpers, R. A. Samson and G. L. Benny (1978) On the taxonomy of *Monilia royeri*, an important pathogen of *Theobroma cacao* in South America. *Canadian Journal of Botany* 56:2528-2532.
- González L. C. y E. V. Vega (1992) Evaluación de la reacción a moniliasis en clones e híbridos de cacao en Río Frio, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 16:13-22.
- Griffith G. W., J. Nicholson, A. Nenninger, R. N. Birch and J. N. Hedger (2003) Witches' brooms and frosty pods: Two major pathogens of cacao. *New Zealand Journal of Botany* 41:423-435.
- IGM, Instituto Geográfico Militar, Ecuador (1986) Mapa general de suelos del Ecuador. Escala 1:1000000.
- Jaimes Y., F. Aránzazu, E. Rodríguez and N. Martínez (2011) Behavior of introduced regional clones of *Theobroma cacao* toward the infection *Moniliophthora royeri* in three different regions of Colombia. *Agronomía Colombiana* 29:171-178.
- Meinhardt L. W., J. Rincones, B. A. Bailey, M. C. Aime, G. W. Griffith, D. Zhang and G. A. G. Pereira (2008) *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease of cacao: what's new from this old foe? *Molecular Plant Pathology* 9:577-588.
- Miranda R. A. C., L. C. E. Milde, A. L. Bichara and S. Cornell (1994) Daily characterisation of air temperature and relative humidity profiles in a cocoa plantation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 29:345-353.
- Oliveira M. L. e E. D. M. N. Luz (2005) Identificação e Manejo das Principais Doenças do Cacau no Brasil. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC/SEFIT. 132 p.

- Osorio-Solano C., C. A. Orozco-Castaño, G. A. López-Gartner y F. A. Rivera-Páez (2012) Variabilidad genética de *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime y Phillips-Mora, comb. nov. (Agaricales - Marasmiaceae) en variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica* 61:93-101.
- Pereira J. L., L. C. C. Almeida and S. M. Santos (1996) Witches' broom disease of cocoa in Bahia: attempts at eradication and containment. *Crop Protection* 15:743-752.
- Phillips-Mora W. and M. J. Wilkinson (2007) Frosty pod of cacao: A disease with a limited geographic range but unlimited potential of damage. *Phytopathology* 97:1644-1647.
- Phillips-Mora, W., M. C. Aimeb and M. J. Wilkinson (2007) Biodiversity and biogeography of the cacao (*Theobroma cacao*) pathogen *Moniliophthora roreri* in tropical America. *Plant Pathology* 56:911-922.
- Quintero R. M. L. y M. K. M. Díaz (2004) El mercado mundial de cacao. *Agroalimentaria* 18:48-60.
- Quintero R. M. L. y L. L. N. García (2010) La producción de cacao en Venezuela: Hacia una nueva ruralidad. *Actualidad Contable FACES* 13:114-123.
- Quiroz J. y F. Amores (2002) Rehabilitación de plantaciones tradicionales de cacao en Ecuador. *Manejo Integrado de Plagas* 63:73-80.
- R Development Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org/>.
- Ramírez G. S. I. (2008) La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en Marcha* 21:97-110.
- Ramlachan N., J. Agama, F. Amores, J. Quiroz, D. Vaca, C. Zamora and J. C. Motamayor (2009) Regional selection of hybrid nacional cocoa genotypes in coastal Ecuador. *Ingenic Newsletter* 12:25-35.
- Rodríguez E. (2006) Técnica de reducción de inóculo para controlar la moniliasis del cacao en Santander. *Revista Corpoica* 4:68-78.
- Sánchez L., E. Gamboa y J. Rincón (2003) Control químico y cultural de la moniliasis (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) del cacao (*Theobroma cacao* L) en el estado Barinas. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ* 20:188-194.
- Sánchez-Mora F. D. y F. R. Garcés-Fiallos (2012) *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans *et al.* en el cultivo de cacao. *Scientia Agropecuaria* 3:249-258.
- Tovar G., M. Mayorga, G. Rondón, C. Cifuentes, J. Prieto y M. Ortíz (1991) La escoba de bruja del cacao [*Crinipellis perniciosa* (Stahel) Singer] en la región del piedemonte llanero de Colombia: La dinámica de la producción de escobas y el periodo de latencia. *Agronomía Colombiana* 8:123-138.
- Villavicencio M. y M. Jiménez (2010) Caracterización morfológica, fisiológica y patogénica de *Moniliophthora roreri* aislados de cinco provincias de la Costa Ecuatoriana. Artículos de Tesis de Grado - FIMCP, 957. ESPOL, Ecuador. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10957> (Enero 2012).