

VARIACIÓN FENOTÍPICA Y SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE CACAO DE ALTO RENDIMIENTO EN ECUADOR

PHENOTYPIC VARIATION AND SELECTION OF HIGH PERFORMANCE COCOA GENOTYPES IN ECUADOR

Ignacio Antonio Sotomayor Cantos¹, Omar Miguel Tarqui Freire¹, Rey Gastón Loor Solorzano¹, Freddy Marcelo Amores Puyutaxi², Juan Carlos Motamayor³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Tropical Pichilingue. CP: 24. Km 5 vía Quevedo-El Empalme, cantón Mocache, Los Ríos, Ecuador.

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Agrarias. Carrera de Ingeniería Agronómica. Campus Ing. Manuel Haz Álvarez, km 1,5 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. CP: 120501. Cantón Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

³Mars Inc., 13601 Old Cutler Road, Miami, Florida 33158, United States of America.

Contacto: ignacio.sotomayorc@iniap.gob.ec

RESUMEN

En Ecuador, el aprovechamiento de la diversidad genética de la especie *Theobroma cacao* L., ha sido la base para el desarrollo de materiales de alta productividad y calidad organoléptica. El INIAP en las últimas dos décadas ha concentrado sus esfuerzos en programas de hibridación que permitan acelerar y ampliar la identificación de nuevos materiales que permitan incrementar la oferta exportable de cacao fino. La presente investigación evaluó el potencial productivo de 53 genotipos derivados de cruces de distinto origen genético: 17 derivados de cruces Alto Amazónico x Alto Amazónico, 10 de cruces entre Nacional x Alto Amazónicos, 3 de cruces entre Nacional x Nacional, 23 derivados de cruces entre CCN 51 x Alto Amazónico y como controles se usaron los clones comerciales EET-103, JHV-10 y CCN 51. Se evaluaron características productivas y sanitarias, usando técnicas de estadística descriptiva, se realizaron análisis de correlaciones bivariadas, análisis de componentes principales, análisis de clúster con el método de Ward y se construyó un dendrograma para determinar la similitud entre genotipos. Como resultado se determinó que el genotipo INIAPT 484 (derivado del cruce entre genotipos Alto Amazónicos), presentó las mejores características productivas, con un rendimiento de cacao significativamente superior al de CCN 51, lo cual deberá ser validado en pruebas posteriores a nivel multilocal y con mayor número de individuos, previo a una posible liberación comercial como nueva variedad mejorada de cacao para el beneficio del sector cacaoero.

Palabras clave: Genotipos, Rendimiento, Mejoramiento, Potencial productivo, Cruces.

ABSTRACT

In Ecuador, the exploitation of the genetic diversity of the species *Theobroma cacao* L., has been the basis for the development of materials of high productivity and organoleptic quality. The INIAP in the last two decades has concentrated its efforts on hybridization programs that allow to accelerate and expand the identification of new materials that allow to increase the exportable supply of fine cocoas. The present investigation evaluated the productive potential of 53 genotypes derived from crosses of different genetic origin: 17 derived from crosses Alto Amazónico x Alto Amazónico, 10 crosses between Nacional x Alto Amazónico, 3 crosses between Nacional x Nacional, 23 derived from crosses between CCN 51 x Alto Amazónico and commercial clones EET-103, JHV-10 and CCN 51 were used as controls. Productive and sanitary characteristics were evaluated, using descriptive statistics techniques, bivariate correlations analysis, principal component analysis, analysis were performed. Cluster with the Ward method and a dendrogram was constructed to determine the similarity between genotypes. As a result, it was determined that the genotype INIAPT 484 (derived from the crossing between genotypes Alto Amazónicos), presented the best productive characteristics, with a cocoa yield significantly higher than that of CCN 51, which should be validated in subsequent tests at the multilocal level and with greater number of individuals, prior to a possible commercial release as new improved variety of cocoa for the benefit of the cocoa sector.

Keywords: Genotypes, Yield, Improvement, Productive potential, Crosses.



Recibido: 11 de septiembre de 2017

Aceptado: 05 diciembre de 2017

ESPAMCIENCIA 8(2): 23-33/2017

INTRODUCCIÓN

Durante el siglo XX, el orden socio-económico ecuatoriano se desarrollaba en gran medida alrededor del mercado internacional del cacao (*Theobroma cacao* L.). Hoy en día, el Ecuador posee un importante predominio en este producto, más del 70% de la producción mundial de cacao fino y de aroma se origina en el país, convirtiéndolo en el mayor productor de este tipo de cacao en el mundo. Del total de la exportación ecuatoriana se estima que un 75% es cacao fino de aroma; mientras que, el restante 25% pertenece a otras variedades consideradas cacao corriente, dentro de este grupo se encuentra el clon CCN 51. Este clon se caracteriza por su alta capacidad productiva, siendo esta cuatro veces mayor a las producciones en huertas tradicionales. En el país, en la actualidad se cultivan algunos tipos de cacao, pero la variedad conocida como Nacional es la más apetecida por la industria chocolatera, por la calidad de sus granos y la finura de su aroma (Anecacao, 2015).

La disponibilidad de variedades genéticamente mejoradas con mayor productividad que el CCN51, es una prioridad dentro de los programas de mejoramiento genético de cacao fino y de aroma de Ecuador. La obtención de variedades con mayor valor económico depende de dichos procesos de mejoramiento y de selección conducidos en centros de investigación como la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). En ésta Estación Experimental, el país cuenta con un banco de germoplasma de cacao compuesto por varias colecciones vivas, además de parcelas de observación y nuevas poblaciones híbridas creadas durante las últimas décadas.

Con el propósito de desarrollar nuevos genotipos de alta productividad, dotados de alta calidad organoléptica y tolerantes a las principales enfermedades que afectan al cultivo, en el año 2002 se inició un nuevo esquema de cruzamientos entre individuos “élites” seleccionados de las colecciones presentes en la EETP. Se desarrollaron cuatro esquemas de cruzamientos, que originaron a su vez cuatro poblaciones segregantes: 1. Alto Amazónicos x Alto Amazónicos (Población A), 2. Nacional x Alto Amazónico (Población B), 3. Nacional x Nacional (Población C) y 4. CCN 51 x Alto Amazónico (Población D) (Amores *et al.*, 2004). La presente investigación se basó en la evaluación de 53 clones previamente seleccionados de una población segregante de 674 individuos, con el objetivo de identificar y seleccionar los genotipos de cacao más prometedores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento y condiciones ambientales

La investigación se condujo en la EETP del INIAP durante el período de agosto 2007-noviembre 2013, ubicada en el km. 5 de la vía Quevedo-El Empalme, a una altitud de 85 msnm. Las coordenadas geográficas son 79° 21' Longitud Oeste y 1° 6' Latitud Sur. La temperatura media es 24.1°C, precipitación anual 2252 mm y heliofanía 894 horas luz (INAMHI, 2016).

El suelo en el sitio experimental presenta textura franco-limosa con un buen nivel de fertilidad y drenaje moderado. La topografía del sitio es ligeramente ondulada.

Factores en estudio

Para el experimento se seleccionaron 53 clones provenientes de plantas híbridas, que presentaron los mejores rendimientos dentro de una población segregante previamente evaluada, y 3 clones comerciales como controles (Cuadro 1). Se empleó un diseño de bloques completos al azar (DCA) con 56 tratamientos, constituidos por tres plantas por clon y cuatro repeticiones. La superficie experimental se delimitó por una hilera-borde del clon EET 103.

Variables registradas

Durante el período diciembre 2007 a noviembre 2013 (datos acumulados de 6 años de producción) se registraron las variables que se detallan a continuación:

Número de mazorcas sanas (MS).- contabilizadas cada 15 días al momento de la cosecha. Se consideraron mazorcas sanas aquellas cuyas almendras no habían sido afectadas por alguna enfermedad.

Peso fresco (PF).- se registró por árbol en cada evento de cosecha (cada 15 días) y se midió en gramos planta⁻¹.

Número de mazorcas con escoba de bruja (ME).- se registró cada 15 días al momento de cosecha. Se consideraron aquellas mazorcas infectadas con escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*).

Número de mazorcas enfermas con Moniliasis (ME_{mn}).- se registró cada 15 días al momento de la cosecha. Se consideraron aquellas mazorcas infectadas por moniliasis (*Moniliophthora roreri*).

Número de escobas vegetativas (EB_v), Número de escobas de cojinetes (EB_c) y Número de frutos chirimoya (FCh).- se registraron una vez al año, hacia el final de la época seca. Se contó el número de EB_v, EB_c y FCh por árbol. Inmediatamente después de esta labor se desprendieron

del tronco y ramas, y se distribuyeron en el suelo para acelerar su descomposición.

Índice de mazorca (IM).- número de mazorcas necesarias para obtener 1,0 kg de cacao seco. Se calculó sobre la base de 10 mazorcas cosechadas al azar.

Índice de semilla (IS).- se registró en base al peso de 100 almendras secas, obtenidas aleatoriamente a partir de las mismas mazorcas cosechadas al azar.

Número de semillas por mazorca (NSM).- se obtuvo contando el número de semillas presentes en cada mazorca.

Cuadro 1. Genealogía de clones de cacao provenientes de plántulas híbridas seleccionados por su potencial productivo

N°	Población	Código Experimental	Familia	N°	Población	Código Experimental	Familia
1	A	INIAPT 145	AMAZ 11 x EBC 148	29	C	INIAPT 599	GLORIA 17 x SNA 0707
2	A	INIAPT 164	AMAZ 11 x TAP 3	30	C	INIAPT 619	GLORIA 17 x SNA 0708
3	A	INIAPT 273	AMAZ 11 x TIP 1	31	D	INIAPT 008	CCN 51 x LCT 46
4	A	INIAPT 484	AMAZ 14 x EBC 148	32	D	INIAPT 009	CCN 51 x LCT 46
5	A	INIAPT 649	AMAZ 14 x LCT 368	33	D	INIAPT 010	CCN 51 x B 60
6	A	INIAPT 118	AMAZ 14 x TIP 1	34	D	INIAPT 012	CCN 51 x B 60
7	A	INIAPT 410	AMAZ 14 x TIP 1	35	D	INIAPT 033	CCN 51 x AMAZ 11
8	A	INIAPT 594	CUR 3 x TIP 1	36	D	INIAPT 072	CCN 51 x B 60
9	A	INIAPT 632	CUR 3 x TIP 1	37	D	INIAPT 184	CCN 51 x TAP 3
10	A	INIAPT 183	TAP 10 x LCT 368	38	D	INIAPT 185	CCN 51 x TAP 3
11	A	INIAPT 038	TAP 10 x UNAP 2	39	D	INIAPT 187	CCN 51 x TAP 3
12	A	INIAPT 321	TAP 10 x UNAP 2	40	D	INIAPT 189	CCN 51 x TAP 3
13	A	INIAPT 509	TAP 3 x CUR 3	41	D	INIAPT 294	CCN 51 x B 60
14	A	INIAPT 641	TAP 3 x TIP 1	42	D	INIAPT 320	CCN 51 x AMAZ 11
15	A	INIAPT 656	TAP 6 x EBC 148	43	D	INIAPT 352	CCN 51 x AMAZ 11
16	A	INIAPT 467	TAP 6 x LCT 368	44	D	INIAPT 364	CCN 51 x TAP 3
17	A	INIAPT 337	TIP 1 x EBC 148	45	D	INIAPT 380	CCN 51 x AMAZ 11
18	B	INIAPT 653	EET 233 x 2057	46	D	INIAPT 384	CCN 51 x TAP 3
19	B	INIAPT 531	EET 387 x 2416	47	D	INIAPT 405	CCN 51 x TAP 3
20	B	INIAPT 351	EET 387 x A 645	48	D	INIAPT 445	CCN 51 x AMAZ 11
21	B	INIAPT 302	EET 387 x A 645	49	D	INIAPT 461	CCN 51 x TAP 6
22	B	INIAPT 024	EET 387 x A 645	50	D	INIAPT 462	CCN 51 x TAP 6
23	B	INIAPT 230	EET 387 x A 645	51	D	INIAPT 487	CCN 51 x TAP 6
24	B	INIAPT 016	EET 58 x B 60	52	D	INIAPT 565	CCN 51 x LCT 37
25	B	INIAPT 468	SIL 1 x 2057	53	D	INIAPT 579	CCN 51 x TAP 6
26	B	INIAPT 630	SIL 1 x 2416	54	Control	EET 103	NACIONAL x VENEZOLANO
27	B	INIAPT 643	SIL 1 x 2416	55	Control	JHV 10	
28	C	INIAPT 368	GLORIA 1 x CCAT 1858	56	Control	CCN 51	ICS 95 x IMC 67

Análisis estadístico

Primeramente, se exploró la variación fenotípica usando parámetros estadísticos de variación como: medias, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV), valor máximo y valor mínimo, de las características productivas y sanitarias. Se establecieron correlaciones que determinaron el grado de asociación de las variables

evaluadas. Un análisis de componentes principales (ACP) que permitió observar la dispersión de los genotipos y la formación de grupos particulares. Posteriormente se realizó un análisis de agrupamiento o cluster (Método de Ward) para clasificar los genotipos y se generaron grupos en función de niveles de similitud entre ellos. Para confirmar la separación estadística de los grupos definidos por el análisis de Cluster, se condujo un análisis de varianza

multivariado (Hotelling, 1936). Luego se exploró cada grupo utilizando un análisis de varianza para cada variable. Cuando el valor de F era significativo se procedió a la separación de medias de clones mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$), de esta manera, se detectaron diferencias estadísticas entre clones dentro de cada grupo y se identificaron los individuos sobresalientes. Al final se identificaron genotipos que reunían el mayor número de características favorables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación fenotípica

Los índices que determinaron la variación fenotípica de la población segregante, se presentan en el cuadro 2. Los altos valores de CV en las variables EBC (127,37%) y FCh (121,65%) indican una elevada variabilidad en incidencia de esta enfermedad, situación deseable para una población inicial, objeto de selección. Mientras que el menor CV lo presentó el NSM (12,32%). Por otro lado, se encontraron clones con poca o casi nula infección de escoba de bruja. Peña (2003), menciona que los caracteres con valores altos son importantes para determinar niveles de variabilidad genética dentro de la especie *Theobroma cacao* L., mientras mayor sean los niveles de variación hay mayores potencialidades de obtener respuestas genéticas a la selección natural o artificial.

En el cuadro 2, también se puede observar que el clon con código experimental INIAPT-484 (Población A) sobresale con el promedio más alto para PF con 10084 gramos y con un promedio acumulado por árbol de 83

MS, dando a conocer su potencial productivo, además es el más rendidor entre los 56 genotipos que abarca la investigación, incluidos los controles CCN 51, JHV 10 y EET-103 que presentaron un promedio de PF de 9117, 6667 y 3452 gramos, respectivamente. En relación a la producción de MS los controles mostraron promedios de 59, 50 y 34 mazorcas/árbol, en el mismo orden. Estudios recientes de Chang *et al.* (2014), encontraron que los controles CCN 51 y EET-103 presentaron las mejores características físicas. El INIAPT-484 está dotado con el IS más alto, que lo convierte en una alternativa prometedora. Materiales con estos potenciales comienzan a marcar una tendencia para nuevos procesos de mejoramiento genético y/o establecimiento de nuevas plantaciones, concordando con lo mencionado en otra investigación reciente (Proaño *et al.*, 2015).

Por otro lado, Tirado-Gallego *et al.* (2016) mencionan que el mejoramiento genético del árbol de cacao se vislumbra como una alternativa importante para enfrentar a los patógenos que afectan al cultivo, al conferir niveles crecientes de resistencia. Calderón (2004) en su estudio, reportó a los genotipos TAP 6 y TIP 1 con la menor incidencia de Escoba de bruja, estos materiales fueron recolectados en la Amazonía ecuatoriana, y son uno de los progenitores de clones considerados genéticamente resistentes a esta enfermedad según estudios actuales (Tarqui *et al.*, 2017). TAP 6 y TIP 1 también son parentales de genotipos que conformaron la presente investigación, entre ellos, están el INIAPT-656, INIAPT-410, INIAPT-337, INIAPT-579 e INIAPT-467, que mostraron niveles aceptables de resistencia a este patógeno (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características productivas y sanitarias (promedio acumulado por árbol) de los 53 genotipos de distinto origen genético y los 3 controles

Nº	Código Experimental	Población	Familia	MS	PF (gr)	ME	Memn	Ebv	Ebc	FCh	IM	IS	NSM
1	INIAPT 484	A	AMAZ 14 x EBC 148	83	10084	45	27	24	4	1	16	1,5	41
2	CCN 51	CONTROL	ICS 95 X IMC 67	59	9117	36	17	16	23	6	17	1,5	41
3	INIAPT 384	D	CCN 51 x TAP 3	96	8938	49	12	10	4	1	24	0,9	46
4	INIAPT 072	D	CCN 51 x B 60	90	8735	20	7	11	6	2	31	0,8	44
5	INIAPT 352	D	CCN 51 x AMAZ 11	74	8265	35	15	13	4	1	20	1,3	43
6	INIAPT 632	A	CUR 3 x TIP 1	76	8213	17	5	32	9	11	26	1,2	34
7	INIAPT 302	B	EET 387 x A 645	70	7877	12	4	8	4	3	23	1,3	35
8	INIAPT 405	D	CCN 51 x TAP 3	67	7371	21	3	18	5	0	19	1,1	44
9	INIAPT 462	D	CCN 51 x TAP 6	49	7046	11	3	7	5	2	16	1,3	47
10	JHV 10	CONTROL		50	6667	20	9	8	1	1	17	1,3	45
11	INIAPT 364	D	CCN 51 x TAP 3	53	6579	23	9	14	2	0	20	1,0	46
12	INIAPT 445	D	CCN 51 x AMAZ 11	54	6259	25	9	12	1	1	36	0,9	38
13	INIAPT 380	D	CCN 51 x AMAZ 11	49	6144	24	21	15	3	1	17	1,4	40

14	INIAPT 461	D	CCN 51 x TAP 6	41	6028	25	6	7	1	0	20	1,2	45
15	INIAPT 187	D	CCN 51 x TAP 3	55	5810	21	6	12	8	2	24	1,0	41
16	INIAPT 038	A	TAP 10 x UNAP 2	64	5615	18	4	17	7	6	21	1,1	42
17	INIAPT 010	D	CCN 51 x B 60	63	5533	22	7	11	1	0	22	1,1	42
18	INIAPT 184	D	CCN 51 x TAP 3	58	5354	20	7	11	0	0	25	0,9	40
19	INIAPT 294	D	CCN 51 x B 60	54	5027	27	15	7	1	0	27	0,9	40
20	INIAPT 183	A	TAP 10 x LCT 368	85	4970	19	3	14	6	9	36	0,8	29
21	INIAPT 320	D	CCN 51 x AMAZ 11	46	4805	29	24	9	2	2	25	0,9	40
22	INIAPT 351	B	EET 387 x A 645	45	4800	5	1	12	6	6	39	0,7	46
23	INIAPT 321	A	TAP 10 x UNAP 2	40	4721	31	18	9	15	13	31	0,9	39
24	INIAPT 656	A	TAP 6 x EBC 148	35	4700	9	3	8	1	0	16	1,4	46
25	INIAPT 185	D	CCN 51 x TAP 3	41	4665	35	15	13	7	2	16	1,3	50
26	INIAPT 016	B	EET 58 x B 60	42	4615	21	9	39	8	1	21	1,3	42
27	INIAPT 467	A	TAP 6 x LCT 368	43	4527	5	0	9	1	1	17	1,2	44
28	INIAPT 468	B	SIL 1 x 2057	45	4434	13	6	24	24	14	27	1,1	36
29	INIAPT 118	A	AMAZ 14 x TIP 1	42	4343	9	3	16	4	6	21	1,1	44
30	INIAPT 164	A	AMAZ 11 x TAP 3	44	4342	33	27	22	14	10	21	1,1	43
31	INIAPT 641	A	TAP 3 x TIP 1	44	4219	14	1	7	0	0	20	1,1	43
32	INIAPT 008	D	CCN 51 x LCT 46	38	4094	19	6	29	30	6	22	1,2	39
33	INIAPT 009	D	CCN 51 x LCT 46	39	4021	19	6	11	0	0	26	1,1	33
34	INIAPT 653	B	EET 233 x 2057	45	3992	6	1	14	3	0	31	1,0	34
35	INIAPT 273	A	AMAZ 11 x TIP 1	46	3911	27	12	13	10	13	17	1,2	48
36	INIAPT 487	D	CCN 51 x TAP 6	30	3867	18	4	6	2	1	20	1,1	43
37	INIAPT 033	D	CCN 51 x AMAZ 11	26	3865	10	6	10	21	5	19	1,1	44
38	INIAPT 649	A	AMAZ 14 x LCT 368	42	3452	25	15	12	7	5	45	0,8	32
39	EET 103	CONTROL	NACIONAL X VENEZOLANO	34	3452	13	4	36	13	6	17	1,3	42
40	INIAPT 189	D	CCN 51 x TAP 3	25	3206	11	3	15	27	3	16	1,2	47
41	INIAPT 579	D	CCN 51 x TAP 6	20	3160	6	2	6	4	1	19	1,2	40
42	INIAPT 565	D	CCN 51 x LCT 37	27	2885	5	1	24	22	2	21	1,0	44
43	INIAPT 012	D	CCN 51 x B 60	15	2857	13	6	21	54	12	15	1,5	43
44	INIAPT 509	A	TAP 3 x CUR 3	26	2806	16	5	18	3	3	25	0,9	37
45	INIAPT 599	C	GLORIA 17 x SNA 0707	27	2748	23	7	13	0	1	23	1,0	41
46	INIAPT 024	B	EET 387 x A 645	27	2588	10	2	29	13	8	30	1,1	32
47	INIAPT 630	B	SIL 1 x 2416	25	2400	14	5	29	4	1	23	1,1	38
48	INIAPT 643	B	SIL 1 x 2416	16	2204	11	4	23	3	0	16	1,4	43
49	INIAPT 594	A	CUR 3 x TIP 1	29	2196	13	1	5	1	0	35	0,8	31
50	INIAPT 368	C	GLORIA 1 x CCAT 1858	22	2184	12	2	40	9	2	22	1,2	38
51	INIAPT 145	A	AMAZ 11 x EBC 148	20	2160	10	10	17	9	16	26	0,9	39
52	INIAPT 531	B	EET 387 x 2416	13	1265	7	4	8	1	0	24	0,8	42
53	INIAPT 230	B	EET 387 x A 645	13	1194	7	2	5	1	0	23	1,0	44
54	INIAPT 619	C	GLORIA 17 x SNA 0708	13	1150	2	2	27	3	0	36	0,8	33
55	INIAPT 337	A	TIP 1 x EBC 148	11	1058	7	2	7	0	0	18	1,1	45
56	INIAPT 410	A	AMAZ 14 x TIP 1	9	890	6	2	16	5	7	26	1,3	28
Desviación Estándar				20,95	2224,81	10,35	6,52	8,76	9,64	4,25	6,64	0,20	4,97
Promedio				42,71	4596,49	17,89	7,24	15,46	7,57	3,50	23,32	1,10	40,64
Coeficiente de variación (%)				49,06	48,40	57,72	90,07	56,62	127,37	121,65	28,47	18,27	12,22
Valor Máximo				95,50	10084,09	49,33	27,00	40,45	54,00	16,00	45,00	1,50	50,00
Valor Mínimo				9,08	889,58	1,90	0,08	5,25	0,00	0,00	15,00	0,70	28,00

Análisis de correlación

En el Cuadro 3, se encuentra la matriz de correlaciones entre las variables registradas en la investigación. Las correlaciones más altas se presentaron entre PF y MS (0,90); MEMn y ME (0,81); también IS con IM (0,80). Esto es coherente con lo que señala Enríquez (1981), quien menciona que el éxito del mejoramiento genético del cacao se basa en la selección de genotipos sobresalientes en varias características, entre las que ha considerado: rendimiento, número de mazorcas sanas y peso de las almendras. Sánchez-Mora *et al.* (2014), vinculan al rendimiento como una de las variables de mayor jerarquía. Jacob (1975), señala que los programas de mejoramiento genético usualmente enfocan su investigación hacia la selección de genotipos que destacan por su rendimiento:

número de frutos producidos por árbol, número y peso seco de las almendras.

En el cuadro 3, también revela que entre MS con ME (0,63), y con MEMn (0,36), y NSM con IM 0,60%, presentan una correlación (r) positiva moderada. Estos valores probablemente se deben a que un genotipo que produce una alta cantidad de mazorcas, es propenso a que el número de mazorcas enfermas con Escoba y/o Monilia sea mayor, a diferencia de genotipos que producen muy pocos frutos. Los genotipos recomendados para trabajos de mejoramiento genético deben presentar aceptables niveles de resistencia a escoba de bruja, constituyéndose en un factor importante en la selección de materiales (Frías, 1987).

Cuadro 3. Matriz de correlaciones de las características productivas y sanitarias estudiadas en los 56 clones de cacao

Variab	MS	PF	ME	MEMn	EBv	EBc	FCh	IM	IS	NSM
MS	1									
PF	0.90**	1								
ME	0.63**	0.65**	1							
MEMn	0.36**	0.43**	0.81**	1						
EBv	-0.09 ns	-0.11 ns	-0.07 ns	-0.01 ns	1					
EBc	-0.16 ns	-0.07 ns	-0.03 ns	0.05 ns	0.37*	1				
FCh	-0.02 ns	-0.07 ns	-0.04 ns	0.16 ns	0.28*	0.59**	1			
IM	0.12 ns	-0.11 ns	-0.08 ns	-0.08 ns	-0.04 ns	-0.18 ns	0.13 ns	1		
IS	-0.05 ns	0.22 ns	0.10 ns	0.16 ns	0.25 ns	0.28*	0.02 ns	-0.80**	1	
NSM	0.07 ns	0.25 ns	0.21 ns	0.13 ns	-0.22 ns	0.06 ns	-0.20 ns	-0.60**	0.26 ns	1

** : Altamente significativo; * : significativo; y ns : no significativo

Análisis de componentes principales (ACP)

En la figura 1 se muestra el plano definido por los dos primeros componentes que conjuntamente explican el 52,9% de la varianza total exhibida por los datos. El primer componente principal explica el 30,6% de la varianza total donde se agrupan las características MS, PF, ME y MEMn, que aportan la mayor información. El segundo componente principal explica el 22,3% de la variación total. Además de los vectores correspondientes a las variables utilizadas, la figura 1 también muestra la distribución de los puntos que corresponden a los 56 genotipos, definidos por colores de acuerdo a la población de procedencia. En general se observan cinco grupos, a la izquierda del plano definido con una ligera orientación hacia el cuadrante inferior, se observa un grupo de clones que, aunque se encuentran dispersos entre sí, presentan características comunes en lo que respecta a mayor incidencia EBv, EBc y FCh. En

el mismo plano definido hacia el cuadrante superior se encuentra otro grupo que presenta los valores más altos de IM. A la derecha con una orientación hacia el cuadrante superior del plano definido, se vislumbra otro grupo de clones que en general comparten una buena capacidad productiva, aunque también presentan en común una incidencia importante ME y MEMn. En el cuadrante inferior derecho se encuentran genotipos con los IS más altos y el mayor NSM.

La distribución de los genotipos en el plano indican que son parte de una muestra representativa de la diversidad genética de las poblaciones híbridas o cruces realizados entre las poblaciones parentales (Nacional, Alto Amazónico y Nacional x Trinitario) con distinta base genética que aumentan las oportunidades de recombinación y creación de variabilidad (Peña *et al.*, 2006; Loor, 2010).

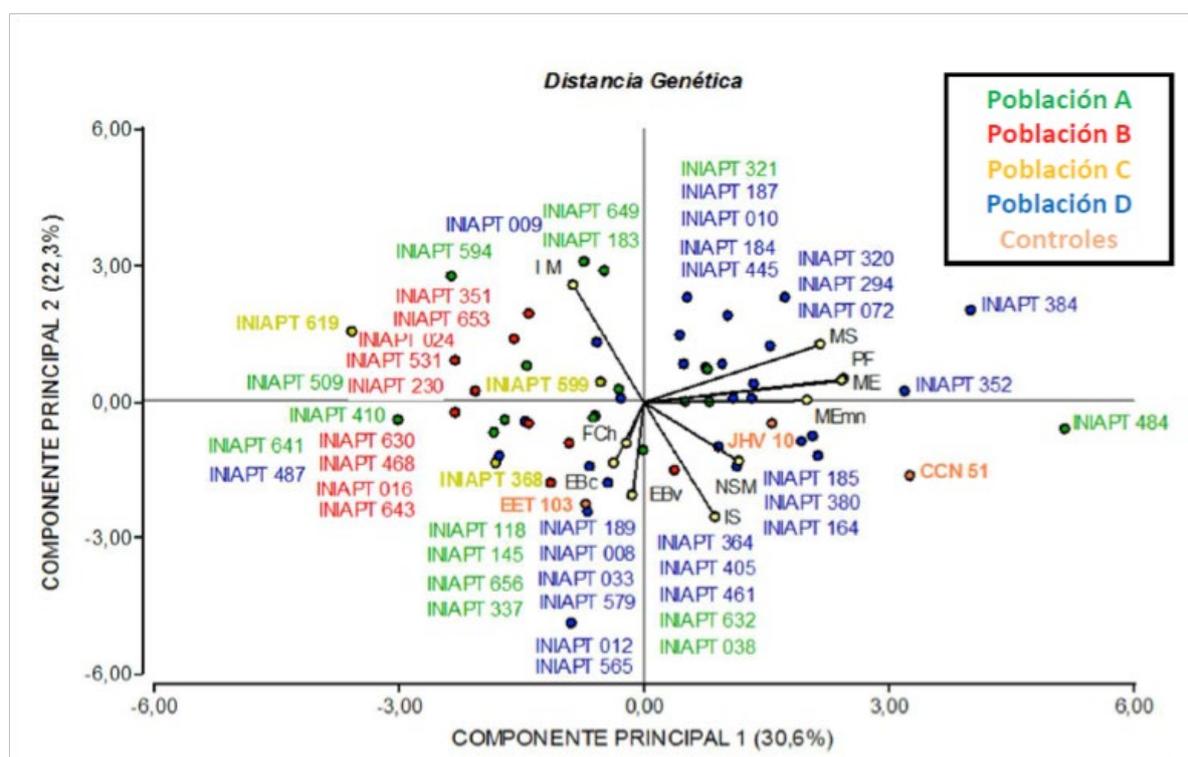


Figura 1. Análisis de Componentes Principales (ACP) de 56 genotipos de cacao en relación a sus características productivas y sanitarias

Análisis de agrupamiento (Cluster)

La amplia variabilidad entre genotipos en base a las características productivas y sanitarias visualizada en la figura 1, y que se desplegó en cinco grupos fue confirmada con el análisis de agrupamiento (método de Ward) tal como aparece en el dendrograma (Figura 2). Los miembros de los cinco grupos comparten características comunes que los diferencian de los clones de otros grupos. El grupo 1 contiene dieciséis genotipos, 5 provenientes de la Población A: INIAPT 145, INIAPT 164, INIAPT 273, INIAPT 321 e INIAPT 632; cuatro procedentes de la Población B: INIAPT 016, INIAPT 468, INIAPT 630 e INIAPT 643; un genotipo de la Población C: INIAPT 368; cinco de la Población D: INIAPT 033, INIAPT 012, INIAPT 565, INIAPT 008 e INIAPT 189; y el clon comercial EET 103 (control). Este grupo se caracteriza por su susceptibilidad a enfermedades, por lo que presenta un mayor número de EBv. El grupo 2 contiene solo cinco genotipos muy distanciados del resto de clones (Figura 1). En este grupo, un clon proviene de la Población A (INIAPT 484); tres son originarios de la Población D (INIAPT 352, INIAPT 380 e INIAPT 185) y el clon comercial CCN 51 (control). Estos clones comparten los valores más altos de PE, MS, IS, NSM y al mismo tiempo, muestran el menor valor IM. El grupo 3 está compuesto por doce genotipos:

cuatro provienen de la Población A: INIAPT 410, INIAPT 509, INIAPT 337 e INIAPT 594; cuatro originarios de la Población B: INIAPT 653, INIAPT 531, INIAPT 024 e INIAPT 230; dos clones provienen de la Población C: INIAPT 599 e INIAPT 619; y dos clones que proceden de la Población D: INIAPT 009 e INIAPT 579. En este grupo, se encuentran aquellos clones con la mayor incidencia de ME y MEen. El grupo 4 contiene quince genotipos: cinco provienen de la Población A: INIAPT 118, INIAPT 038, INIAPT 641, INIAPT 656 e INIAPT 467; un clon proviene de la Población B: INIAPT 302; ocho genotipos proceden de la Población D: INIAPT 010, INIAPT 184, INIAPT 187, INIAPT 364, INIAPT 405, INIAPT 461, INIAPT 462 e INIAPT 487; y el clon comercial JHV 10 (control). Este grupo se caracteriza de un moderado nivel de resistencia a EBc y FCh. Finalmente, el grupo 5 abarca ocho genotipos con algún grado de resistencia a EBv. En este grupo, dos genotipos provienen de la Población A: INIAPT 649 e INIAPT 183; un clon de la Población B: el INIAPT 351; cinco genotipos proceden de la Población D: INIAPT 320, INIAPT 445, INIAPT 072, INIAPT 294 e INIAPT 384. Sin embargo, la amplia variabilidad observada entre los genotipos de origen Amazónico que están implicados en cada uno de los grupo (Figura 2), según Lerceteau *et al.* (1997), puede deberse al grado de introgresión de genes provenientes de genotipos de origen forastero.

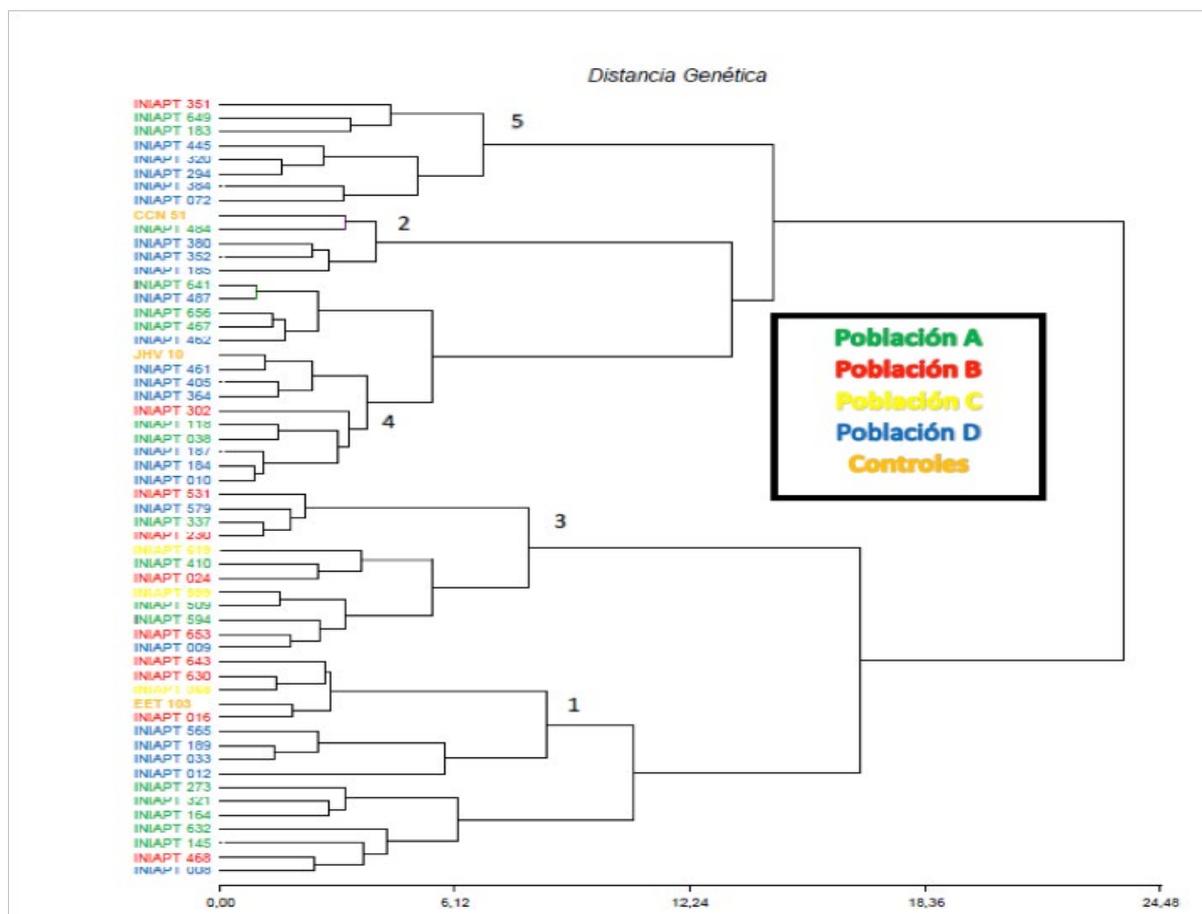


Figura 2. Dendrograma de similitud (Método de Ward) entre 56 genotipos de cacao de distinto origen genético

Análisis de varianza multivariado

Los resultados permiten constatar las diferencias estadísticas (Tukey<0.05) de las medias de los grupos analizados, confirmando de esta manera que los genotipos de cada grupo comparten características comunes que justifican su inclusión en éstos y exclusión a su vez de los otros grupos. Para separar las medias de grupo se utilizó la prueba de Hotelling ($p= 0.05$), cuadro 4.

El grupo 2 presentó los genotipos más rendidores con los

promedios más altos para el PE, IS, IM y NSM. Además, dotados de un buen número de MS. Un aspecto importante a tomar en cuenta en este grupo, es que está integrado por el INIAPT-484 procedente de parentales Alto Amazónicos, INIAPT-185, INIAPT-352 e INIAPT-380 derivados de cruces entre CCN 51 y Alto Amazónicos; y el CCN 51, lo que muestra indicios de que los genotipos derivados de cruzamientos entre estos dos tipos de cacao, tienen una alta probabilidad de recombinación de genes relacionados con las principales características asociadas al rendimiento.

Cuadro 4. Análisis de varianza multivariado de Hotelling y significación estadística entre grupos, mediante la prueba de Tukey_{0.05}

Grupo	MS	PF	ME	ME _{mn}	EB _v	EB _c	FCh	IM	IS	NSM
1	33.80 b	3721.39 c	16.14 c	07.73 bc	23.87 a	16.96 a	7.25 a	21.35 c	1.21 b	39.51 ab
2	61.15 a	7654.73 a	35.12 a	18.73 a	16.14 b	8.18 b	2.10 b	17.71 c	1.42 a	43.34 a
3	22.58 b	2255.54 d	10.12 c	2.89 c	13.18 b	2.81 b	1.73 b	26.33 b	1.05 c	36.67 b
4	50.80 a	5702.35 b	16.50 c	4.63 c	10.80 b	2.89 b	1.53 b	20.28 c	1.18 bc	43.19 b
5	64.04 a	5873.24 b	24.89 b	10.53 b	10.59 b	4.31 b	3.18 b	33.00 a	0.89 d	41.22 b

*Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes (Tukey<0,05)

El rango para la variable PF en los genotipos del grupo 2 es 4664.58–10084.09; con relación a la variable MS el rango es 40,92–83,27. Estos valores son acumulados por árbol y provienen de 6 años de evaluación. El IS, como otro componente del rendimiento, se mueve en el rango 1,31–1,50 (Ver cuadro 2). Las cifras señaladas demuestran que al menos para las variables en cuestión si existen amplias diferencias entre los grupos de clones. Pérez *et al.* (2017), en estudios actuales señalan que el clon más destacado es el EET-103, con mayor IS, IM y rendimiento. En la presente investigación, el clon que sobresale con el promedio más alto para el PF, IS e IM es el INIAPT 484, dando a conocer su potencial productivo frente a los controles. Adicionalmente Sánchez *et al.* (2015) se mencionan que la zona que conforman Mocache y Quevedo es una importante región para la producción comercial de cacao, por lo que con la probable liberación de una nueva variedad mejorada, se beneficiaría en gran medida al sector cacaotero de esta zona, al disponer de otra alternativa de material de siembra certificado. Esto deberá ser validado previamente en pruebas a nivel multilocal y con mayor número de individuos.

Análisis de varianza univariado

Como se había comentado anteriormente, el cuadro 4 contiene los resultados del análisis de varianza multivariado para los genotipos que conforman cada uno de los grupos. Para este análisis se incluyó el IS, IM y NSM que no habían participado en los análisis previos. Su inclusión obedeció a la necesidad de contar con una apreciación relativa de la productividad en relación al rendimiento. Así se facilitó la selección de los genotipos dotados con la mejor combinación de atributos económicos.

Los valores altos de PF encontrados en los clones que conforman el grupo 2 (INIAPT 484, CCN 51, INIAPT 352, INIAPT 380 e INIAPT 185), indica que estos clones tienden a producir más de 1000 kg.ha⁻¹.año⁻¹, expresando el excelente potencial productivo que tienen; corroborando los estudios realizados por Rivera (1995), en relación al rendimiento promedio de genotipos promisorios de cacao.

El PF promedio del clon INIAPT 484 es de 10084 g que se separa claramente del resto, seguido por el CCN 51 con 9116 g (Cuadro 5). Lo que significaría, aproximadamente 1400 kg.ha⁻¹ año⁻¹ de cacao seco del INIAPT-484, frente a 1350 kg.ha⁻¹ año⁻¹ del CCN51 (tomando como referencia los tres últimos años consecutivos de cosecha y calculado con 1111 plantas ha⁻¹), cabe indicar que son datos de ensayos experimentales y que deben ser validados en parcelas

con manejo comercial, donde los datos de rendimiento podrían incluso aumentar. En otros estudios enfocados a la búsqueda de materiales promisorios han reportado rendimientos inferiores, así, Sánchez-Mora *et al.* (2012) encontraron que el clon experimental LR-16 presentó 1126 kg.ha⁻¹ año⁻¹, mientras que Proaño *et al.* (2015) reportaron a los clones L11-H19 y L26-H64 con rendimientos de 1117 y 1043 kg.ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. Adicionalmente, los valores de IS que exhibe el clon INIAPT-484 son superiores a los demás clones que integran la investigación, lo que mejora su valor comercial.

Cuadro 4. Rendimiento (promedio acumulado por árbol) de cuatro genotipos promisorios de cacao de distinto origen genético comparados con los controles, en la provincia Los Ríos-Ecuador

Código	MS	PF (gr)	IM	IS	NSM
INIAPT 484	83 a*	10084.09 a	16.58	1.53	41
CCN 51	58 abc	9116.67 ab	17.99	1.50	41
INIAPT 352	74 ab	8264.58 abc	20.99	1.32	43
JHV 10	49 abc	6667.67 abc	17.66	1.37	45
INIAPT 380	48 abc	6143.75 abc	17.00	1.46	40
INIAPT 185	40 bc	4664.58 bc	16.00	1.31	50
EET 103	33 c	3452.08 c	17.74	1.33	42

*Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes (Tukey<0,05)

CONCLUSIONES

La variabilidad fenotípica de los 56 clones estudiados fue alta en todas las características evaluadas, como resultado de su diverso origen genético.

Se identificaron cinco grupos de genotipos, los cuales difieren en cuanto a características de producción e incidencia de enfermedades. El grupo 2 compuesto por cuatro clones promisorios (un genotipo derivado de la Población A y tres de la Población D) y el control CCN 51, mostraron las mejores características de producción y sanidad.

Se identificó al clon INIAPT 484, derivado del cruzamiento entre genotipos Alto amazónicos (Población A) con el mayor número de atributos económicos: Número de mazorcas sanas, Peso fresco, Índice de mazorca, Índice de semilla y Número de semillas/mazorca, mostrando un potencial productivo superior al clon comercial CCN 51.

LITERATURA CITADA

- Amores, F., Suarez, C., Loor, G., Quiroz, J., Delgado, J., Peña, G., Solis, K., Paredes, N., Calderón, D., Agama, J., Del Pozo, P., y Zapata, R. 2004. Project: Germoplasm evaluation, breeding and phytopatological studies for obtaining improved cocoa varieties. Technical progress report year 2 (April/2003-April/2004).
- Anecacao (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao, Ecuador). 2015. Cacao CCN-51. 2015. En sitio web: <http://www.anecacao.com/es/cacao-ccn-51>.
- Calderón, D. 2004. Caracterización y Evaluación de accesiones de cacao Amazónico con énfasis en su comportamiento sanitario y productivo. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador 87 p.
- Chang, V., Torres, C., Moran, D., Rodriguez, W., Veliz, J., y Remache, R. 2014. Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) fifteen clone beans in Ecuador. Ciencia y Tecnología, 7(2): 21.
- Enríquez, G. 1981. El cultivo de cacao. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 162 p.
- Frías, G. 1987. An inoculation method to evaluate resistance to Witches broom disease of cocoa. Tesis Ph D. Florida, USA. University of Florida. 111 p.
- Hotelling, H. 1936. Relations between two sets of varieties, Biometrika. 28(3/4):321-377.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Higiología). 2016. Anuarios Meteorológicos 2000-2016. [Abril, 2016].
- Jacob, J. 1975. Compatibility and fruit setting in *Theobroma cacao* L. Revista Theobroma (Brasil). 5(2): 12-18.
- Lerceteau, E., Flipo, S., Quiroz, J., Soria, J., Pétiard, V., Cruzilat, D. 1997. Genetic differentiation among Ecuadorian *Theobroma cacao* L. accessions using DNA and morphological analyses. Euphytica, 95(1): 77-87.
- Loor, G. 2010. Prospección, caracterización y conservación de cacaos silvestres emparentados con la variedad Aromática conocida como Nacional en dos microrregiones del Sur de la Amazonía ecuatoriana. Informe de Comisión de servicios EET-Pichilingue.
- Peña, G. 2003. Caracterización morfológica de 57 accesiones de cacao (*Theobroma cacao* L.), tipo Nacional del Banco de Germoplasma de la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Portoviejo. Tesis Ing. Agr. Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agronómica, Escuela de Agronomía, Manabí, Ecuador.
- Peña, G., Motamayor, J., Amores, F., Monteverde, E., y Calderón, D. 2006. Estudio de la capacidad hereditaria de genes de resistencia de escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) en genotipos de cacao Nacional y Amazónicos usados como parentales. En 15va Conferencia Internacional de Investigaciones en Cacao (s.p.) [CD]. San José, Costa Rica: INIAP-USDA.
- Pérez, G., y Freile, J. 2017. Adaptabilidad de clones promisorios de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.), en el cantón Arosemena Tola de Ecuador. Centro Agrícola. 44(2): 44-51.
- Proaño, O., García, J., Quiñónez, L., Mora, F., Matute, A., y Morán, V. 2015. Potencial productivo de clones experimentales de cacao tipo "Nacional". La Técnica. 14: 24-29.

- Rivera, J. 1995. Evaluación de la reacción del material promisorio de cacao de origen Nacional a Escoba de bruja *Crinipellis pernicioso* (Stahel) Siger. Tesis Ing. Agr. Guayaquil, Ec, Universidad Agraria del Ecuador. 66 p.
- Sánchez, F., Vera, J., Ramos, R., Kamphorst, S. 2012. Avaliação do desempenho agronómico e sanitário de clones cacao (*Theobroma cacao* L.) na zona de Quevedo, Equador. Em: Anais do II Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, Belém do Pará, Brasil. 2012. Trabalho 456, CD.
- Sánchez, F., Garcés, F., Vásconez, G., Vera, J., Zambrano, J., y Ramos, R. 2014. Productividad de clones de cacao tipo Nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de Los Ríos, Ecuador, ECUADOR. *Ciencia y Tecnología*. 7(1): 33-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.18779/cyt.v7i1.96>.
- Sánchez-Mora, F., Medina-Jara, S., Díaz-Coronel, G., Ramos-Remache, R., Vera-Chang, J., Vásquez-Morán, V., y Onofre-Nodari, R. 2015. Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Revista fitotecnia mexicana*. 38(3): 265–274.
- Tarqui, O., Sotomayor, I., Casanova, T., Rodríguez, G., Plaza, L., y Zambrano, F. 2017. Selección de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) con resistencia a escoba de bruja (*Moniliophthora pernicioso*) en Los Ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología* (1390-4051). 10(1).
- Tirado Gallego P., Lopera Álvarez, A., y Ríos Osorio L. 2016. Estrategias de control de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora pernicioso* en *Theobroma cacao* L.: revisión sistematica. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*. 17 (3): 417–430.