

Genética y mejoramiento

Estabilidad de la producción de cultivares híbridos de cacao en la región de Baracoa¹

Felipe Martínez-Suárez,^{*} Miquel Menéndez-Grenot,^{**} Mario Varela-Nualles,^{***} Carlos C. Moya-López^{***} y José Ángel Hernández^{****}

Resumen

Con el objetivo de evaluar la estabilidad de producción en cultivares híbridos de cacao, se plantaron descendencias híbridas en la región de Baracoa, sobre un suelo Aluvial Húmico Gleysado, a 28 m sobre el nivel del mar. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cinco réplicas. Para las cuatro primeras cosechas y el despunte se evaluó el número total de mazorcas, el rendimiento de cacao seco y la masa media de las mazorcas. Para las dos últimas cosechas se realizaron evaluaciones complementarias de caracterización de los híbridos, que incluyeron longitud del fruto, ancho del fruto, número promedio de semillas por mazorcas y grosor de la cáscara. Se consideraron los datos climáticos durante el período experimental. Los híbridos UF-650 x Pound-7 y UF-654 x Pound-7 presentaron buen desempeño en los diferentes años y se consideraron como estables, con rendimientos promedio de 1,12 y 1,02 t/ha, superior en un 18 y un 16 % a la media poblacional, respectivamente. Los híbridos UF-668 x Pound-12 y EET-400 x Sca-12 resultaron inestables con rendimientos promedio acumulado de 1,31 y 1,58 t/ha y con mejor comportamiento en años favorables.

Palabras clave: cacao, híbridos, estabilidad, rendimientos.

Abstract

With the objective to evaluating the production stability of the cocoa hybrids cultivar descendants were planted in the Baracoa region on an Alluvial Humic Gleyed soil, at 28 meters over sea level. An experimental blocks design at random was used with five replicates. For the first four harvest and the one blunts it was evaluated: total number of ears, yield of dry cocoa and the half mass of the ears. For the last two harvests complementary evaluations of characterization of the hybrid were carried out that included: longitude of the fruit, wide of the fruit, and number average of seeds for ears and of the shell thickness. The climatic data were considered during the experimental period. The hybrid UF-650 x Pound-7 and UF-654 x Pound-7 presented good acting in the different years and they were considered as stable, with yields average of 1.12 and 1.02 t/ha, superior in a 18 and 16 % to the populational stocking, respectively. The hybrid UF-668 x Pound-12 and EET-400 x Sca-12 were unstable with yields accumulated average of 1.31 and 1.58 t/ha and with better behavior in favorable years.

Key words: cocoa, hybrids, stability, yields

¹ Recibido:10/2015

Aprobado: 10/12/2015

^{*} Estación Agro-Forestal Tercer Frente, INAF, Cruce de Los Baños, Tercer Frente, Santiago de Cuba, direccion@tercerfrente.inaf.co.cu

^{**} Estación Agro-Forestal Baracoa, Guantánamo

^{***} Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)

^{****} Sede Universitaria Municipal, Universidad de Oriente, Tercer Frente, Santiago de Cuba

Introducción

La capacidad de las plantas para adaptarse con éxito a muy diversas condiciones ecológicas pudiera ser, según Mather *et al.* (2003), el factor principal que explica la amplitud de su variabilidad genética.

El incremento de los rendimientos es el primer objetivo de los programas de mejora de los cultivos. La estabilidad de la producción del cacao está determinado por varios factores: genotipo de los clones, tipo de clon y prácticas de cultivo.

La presencia de interacción genotipo x ambiente asume un papel fundamental en el proceso de recomendación de cultivares, y es necesario minimizar su efecto, lo que resulta posible a través de la selección de cultivares con mayor estabilidad fenotípica (Carvalho *et al.*, 2000).

Entre los modelos con términos multiplicativos que aparecen en la literatura se citan el concurrente de Tukey (1963) y Eberhart y Russel (1966), citados por Varela (2002). Estos tratan de explicar la interacción a partir de un solo término multiplicativo, y muchos de ellos no son adecuados para describir la interacción debido a lo compleja que esta resulta. Los modelos con efecto de interacción multiplicativo (AMMI) son muy utilizados para describir la interacción en tablas de dos vías, con la ventaja de permitir una representación Biplot (simultánea) de filas y columnas de la tabla, que facilita identificar las combinaciones de niveles causantes de la interacción (Kang y Gaush, 1996 y Romagosa *et al.*, 1996). Los mismos se clasifican en internos y externos (Van Eeuwijk y Kroonenberg, 1998). El objetivo de este trabajo fue evaluar la estabilidad de producción de híbridos de cacao en la región de Baracoa.

Materiales y métodos

El trabajo experimental se desarrolló en áreas de la finca La Fidelina, a los 20°21' de latitud norte y 74°29' de longitud oeste, ubicada en el municipio de Baracoa, provincia de Guantánamo, a una altura de 28 m sobre el nivel del mar y sobre un suelo Aluvial Húmico Gleysado (MINAG, 1999) durante el período comprendido entre marzo de 1993 y diciembre de 2004. Las labores culturales y fitosanitarias se realizaron según las Instrucciones Técnicas para el Cultivo y Cosecha del Café y Cacao (MINAG, 1987). Se utilizó la distancia de plantación de 3 m x 3 m y la sombra permanente de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Witt.

El clima durante el período 1993-2004 se caracterizó por una precipitación media anual de 2570 mm. La pluviometría en los meses más secos alcanzó un valor superior a los 39 mm. La temperatura media fue de 24,8 °C, y la húmeda relativa del 82 %. Los diagramas climáticos por años se presentan en el anexo.

Los genotipos usados para el estudio constituyeron descendencias de polinización aislada y controlada de *Theobroma cacao* Lin., obtenidos en la etapa anterior, los cuales se establecieron en 1996 en áreas de la finca La Fidelina, perteneciente a la Estación Experimental Agro-Forestal Baracoa. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cinco réplicas, parcelas con dos hileras y seis plantas cada una, utilizando como criterio lo establecido por Eskes *et al.* (2000) y Ramos *et al.* (2001). Se efectuó un primer ciclo de selección, en el cual se escogió un lote de 12 híbridos representados por los cruzamientos siguientes: UF-29 x IMC-67 (1), UF-221 x IMC-67 (2), UF-613 x UF-296 (3), UF-650 x Pound-7 (4), UF-650 x Pound-12 (5) (testigo), UF-654 x Pound-7 (6), UF-667 x Sca-6 (7), UF-668 x Pound-12 (8), UF-676 x Pound-12 (9), UF-677 x IMC-67 (10), EET-400 x Sca-12 (11) y ICS-8 x Pound-12 (12).

Se evaluaron las siguientes variables durante las cuatro primeras cosechas y el despunte: número total de mazorcas (NM), rendimiento de cacao seco (RCC) en t/ha, y la masa media de las mazorcas (MMM) en kg. Para las dos últimas cosechas se realizaron evaluaciones complementarias de caracterización de los híbridos que incluyeron longitud del fruto (LF), ancho del fruto (AF), número promedio de semillas por mazorcas (NS) y grosor de la cáscara (GC).

Se realizó un análisis de varianza de clasificación doble con arreglo factorial (12 x 5), donde los factores fueron genotipos y años. Se eliminó el efecto de réplicas en los años, y las medias se compararon según prueba de rangos múltiples de Duncan ($p < 0,05$).

Con los 12 híbridos, y para los caracteres que mostraron interacción significativa que justificara un análisis de estabilidad, se ajustó el modelo de efecto de interacción multiplicativo y efectos principales aditivos AMMI (Varela, 2002); es decir, se aplicó un Biplot a la matriz de interacción, en la que cada fila correspondió a un genotipo y cada columna a un año; se utilizaron como individuos los genotipos y como variables los años.

Resultados y discusión

En la *Tabla 1* se presentan los resultados del análisis de varianza de los doce híbridos durante cinco años o campañas para el rendimiento, número de mazorcas por planta y masa promedio de la mazorca, revelando que existen diferencias significativas en el rendimiento, tanto para las variables independientes

como para su interacción, mientras que para el número y la masa de la mazorca estas fueron solo significativas entre los años. Almeida y Dias (2001) encontraron expresiva variabilidad genética entre híbridos para todos los caracteres evaluados, con excepción del número de frutos sanos y la masa de semillas húmedas por fruto.

Tabla 1. Análisis de varianza para los caracteres rendimiento (t/ha), número de mazorcas y masa de la mazorca (kg) en 12 híbridos de cacao seleccionados en Baracoa

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio		
		Rendimiento	No. de mazorcas	Masa de las mazorcas
Híbridos (A)	11	360,96 *	0,0511 ns	32 204,56 ns
Años (B)	4	2006,33 ***	0,2324 ***	171 216, 00 ***
A x B	44	35,78 *	0,0094 ns	2976,04 ns
Error	176	22,99	0,0135	2614,24
ES		0,52	0,008	5,331
CV (%)		79,31	34,18	78,61

El comportamiento diferencial de los híbridos para el carácter rendimiento en los años de estudio pone de manifiesto que existe una interacción genotipo-año que evidencia la influencia que ejerce el ambiente sobre el rendimiento en este cultivo, y la existencia de una repuesta no igualitaria de los híbridos en cada año, lo que prueba la importancia de seleccionar materiales para cada año; en otros cultivos esta interacción ha sido de importancia (Estévez *et al.*, 1996 y Ortiz *et al.*, 1998). Lo anterior justifica la realización de un análisis de estabilidad genotípica en cacao, mediante el empleo del modelo AMMI, es decir, una representación gráfica conjunta en dimensión reducida de interacciones de segundo orden correspondientes al análisis de varianza.

El análisis AMMI reveló que los dos primeros ejes mostraron una inercia acumulada del 87,45 % de la variabilidad total, de la cual el 56,98 % corresponde al eje 1, al representar en un Biplot la matriz de residuales de la interacción del modelo (*Fig. 1*). Los híbridos próximos al origen de coordenadas serán los que tendrán un comportamiento más estable al ser probados en los distintos ambientes (años), y resultaron ser para este estudio los siguientes: UF-677 x IMC-67 (10), UF-654 x Pound-7 (6), UF-221 x IMC-67 (2) y el UF-650 x Pound-12. De igual forma, aquellas con posiciones extremas serán las responsables de la interacción significativa detectada en los datos. Como se aprecia en la *fig. 1*, los híbridos más ines-

tables son EET-400 x Sca-12 (11), UF-668 x Pound-12 (8) y UF-676 x Pound-12 (9).

El primer eje contrapone los híbridos EET-400 x Sca-6 (11) y UF-668 x Pound-12 (8) del genotipo UF-676 x Pound-12 (9). Los dos primeros se caracterizaron por presentar los más altos rendimientos acumulados, el EET-400 x Sca-6; en lo particular, interactúa fuerte y positivamente con las condiciones del año (4) 2003, que se caracterizó por haber recibido más de 2400 mm de lluvias, bien distribuidas y con solo período seco en febrero y junio, condición bajo la cual expresa su más alto potencial productivo, manteniendo una relación inversa con los años (1) 2000 y el (3) 2002, que mostraron precipitaciones de 1239 y 1846 mm, respectivamente. El UF-668 x Pound-7 (8), por su parte, interactúa fuerte y positivo con el año (5), donde es capaz de expresar su más alto potencial con rendimiento de 2,2 t/ha el mayor del ensayo; no obstante, interactúa negativamente con el año 676 x Pound-12 (9), interactúa fuerte y significativo con el año (1) 2000, que fue un año donde por lo general los rendimientos fueron bajos, por ser una cosecha de despunte y las precipitaciones inferior a los 1800 mm. Según Bosshart y Van Uexkull (1989), la sequía es uno de los factores que limita los altos rendimientos, de tal modo que los árboles de cacao dependen fuertemente de la humedad y factores del subsuelo. No obstante,

este genotipo interactúa de forma negativa con el año (4) y (5) que justifica su pobre desempeño productivo: 0,40 y 0,91 t/ha, considerados como los más bajos

del ensayo en su respectivo año, lo que demuestra una baja productividad en condiciones de adecuadas precipitaciones.

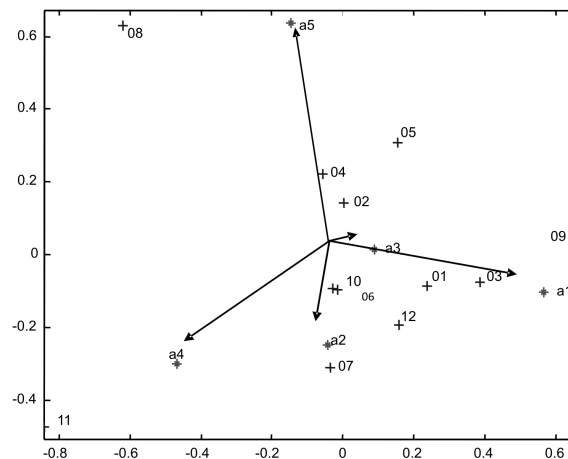


Fig. 1. Representación Biplot de genotipos y años para el rendimiento.

El eje 2 destaca la interacción positiva de los híbridos UF-650 x Pound-12 (4) y UF-221 x IMC-67 (2) con 2004, y la del híbrido UF-667 x Sca-12 (7) con 2001.

Resulta necesario aclarar que en esta representación gráfica Biplot, las proximidades entre híbridos, como por ejemplo UF-677 x IMC-67 (10) y UF-654 x Pound-7 (6), solo indican que estos interactúan de manera similar con el ambiente (2) (2001), pero en ningún caso es indicativo de que presentan similar comportamiento en la variable dependiente analizada (rendimiento), como plantea Varela (2002), trabajando en el cultivo de la papa.

Al representar gráficamente la dinámica del comportamiento promedio del rendimiento en los diferentes años para aquellos híbridos declarados como estables e inestables en el modelo AMMI, y ser comparados con la media poblacional (Fig. 2), se pudo observar que los híbridos estables (4 y 6) muestran un comportamiento superior a la media poblacional, que es como promedio porcentual acumulada de un 18 y 16 %, equivalente a lograr en la producción rendimientos de 1120 y 1020 kg/ha de cacao comercial, el cual es muy superior a los 500 kg/ha informado por la International Cocoa Organization (2005) como promedio mundial, y los 117 kg/ha logrado en la producción nacional. Los otros dos genotipos estables, el 2 y 10, se comportaron por debajo

de la media poblacional. Similar resultado presentó el genotipo categorizado como inestable (9) al mostrar decrecimiento en el orden del 47 % de su rendimiento promedio acumulado.

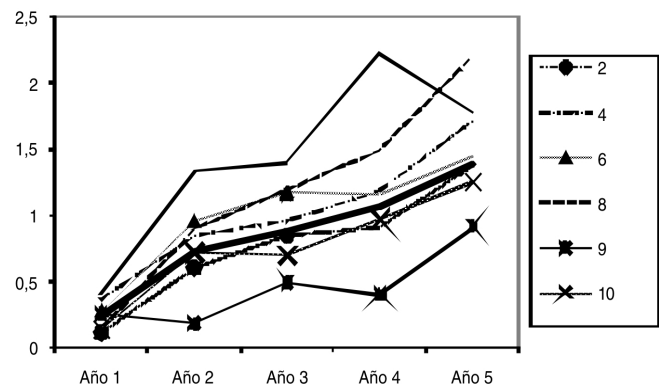


Fig. 2. Comportamiento del rendimiento de los híbridos seleccionados comparados con la media poblacional

Los híbridos EET-400 x Sca-6 (11) y UF-668 x Pound-12 (8), considerados inestables, manifiestan altos rendimientos y promedio superior al de la media poblacional en un 38 y 67 %. Es por ello que estos dos híbridos resultan utilizables para condiciones específicas de

alta precipitaciones (más de 2200 mm), donde muestran o alcanzan rendimientos que oscilan entre los 1310 y 1578 kg/ha de cacao comercial por año. Lachenaud *et al.* (2001) obtuvieron rendimientos en híbridos de hasta 1275 kg de cacao seco/ha acumulado de cinco años en Guyana Francesa, y recomiendan su incorporación a programas de mejoramiento.

El comportamiento de los híbridos para las variables longitud del fruto, diámetro del fruto, grosor de la cáscara y número de semillas por frutos se presentan en la *Tabla 2*, donde solo se obtuvo diferencias significativas para el número de semillas por fruto. La información mostrada servirá de base para tener criterios descriptivos y complementarios de los híbridos a seleccionados.

Tabla 2. Comportamiento de algunos componentes de caracterización del fruto del cacao para los híbridos estudiados

Híbridos	Longitud del fruto	Diámetro del fruto	Grosor de la cáscara	Número de semillas
UF-29 x IMC-67	17,52	8,40	1,47	41
UF-221 x IMC-67	18,44	8,38	1,42	45
UF-613 x UF-296	18,43	8,51	1,51	39
UF-650 x Pound-7	18,85	8,58	1,42	44
UF-668 x Pound-12	18,03	8,56	1,44	42
UF-654 x pound-7	18,50	8,41	1,48	43
UF-667 x Sca-12	17,92	8,42	1,48	38
UF-668 x Pound-12	18,45	8,72	1,41	43
UF-676 x Pound-12	18,03	8,55	1,49	40
UF-677 x IMC-67	18,24	8,81	1,57	41
EET-400 x Sca-6	18,25	8,43	1,48	44
ICS-8 x Pound-12	19,02	8,80	1,45	42
Significativa	ns	ns	ns	*
ES				0,3776
CV (%)				0,9

Conclusiones

- Los híbridos UF-650 x Pound-7 y UF-654 x Pound-7 se consideran como estables, con rendimientos promedio 1,12 y 1,02 t/ha, superior en un 18 y un 16 % a la media poblacional, respectivamente. Los híbridos UF-668 x Pound-12 y EET-400 x Sca-12 resultaron inestables con rendimientos promedio acumulado de 1,31 y 1,58 t/ha y mejor comportamiento en años favorables.

Bibliografía

Almeida C., M. V. C. y L. A. S. Días: Recursos genéticos. En: *Días, L. A. S. Mejoramiento genéticos do cacaueiro*. – Viçosa, Brazil: L. A. S. Días, ed, Cap. 5, pp. 163 – 216, 2001.

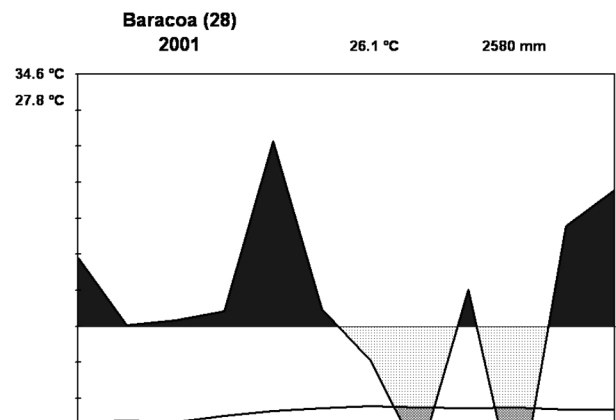
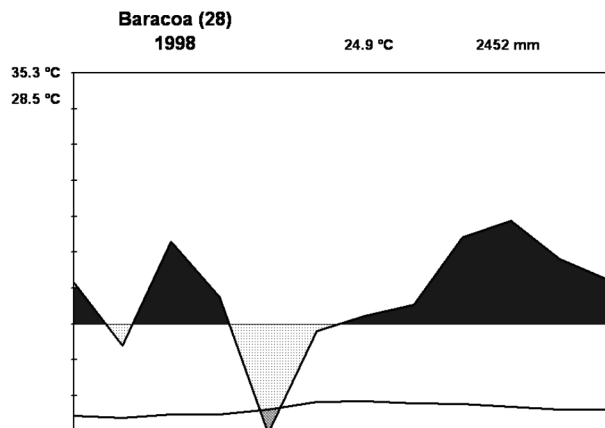
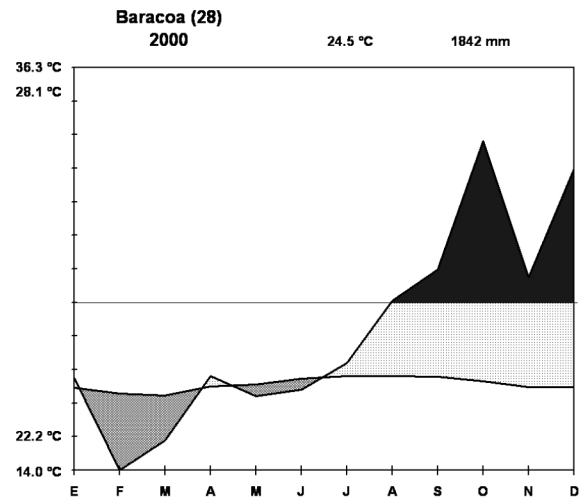
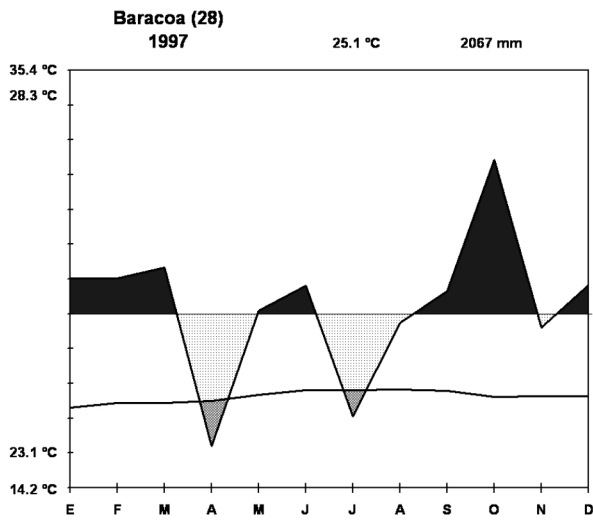
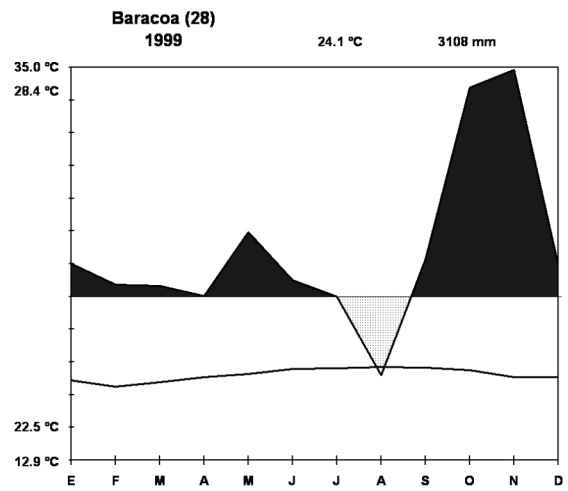
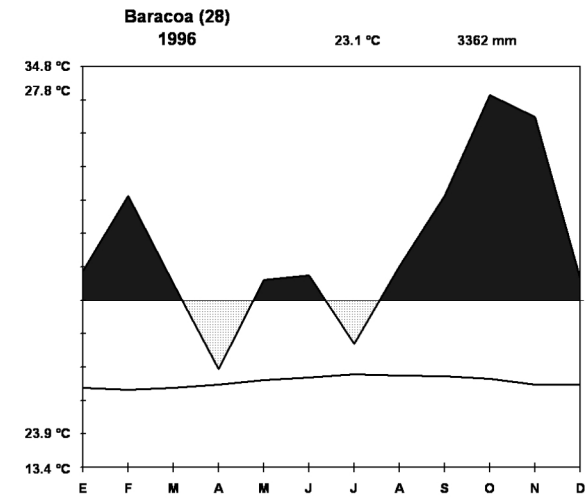
Bosshart, R. P. y H. R. Van Uexkull: El cacao de altos rendimientos necesita fertilizantes y condiciones de cultivo apropiadas. *El Cacaotero Colombiano*, 12 (37): 13 – 15, 1989.

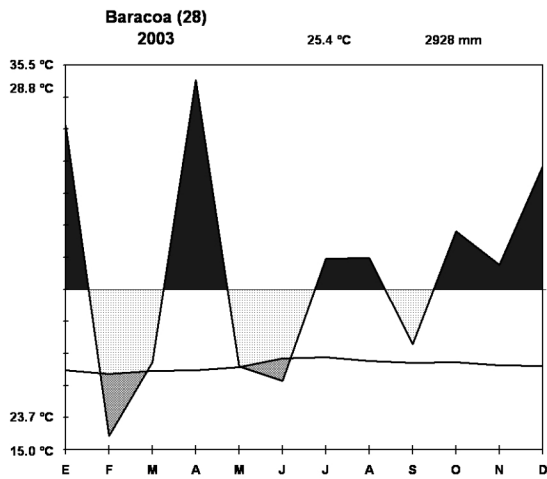
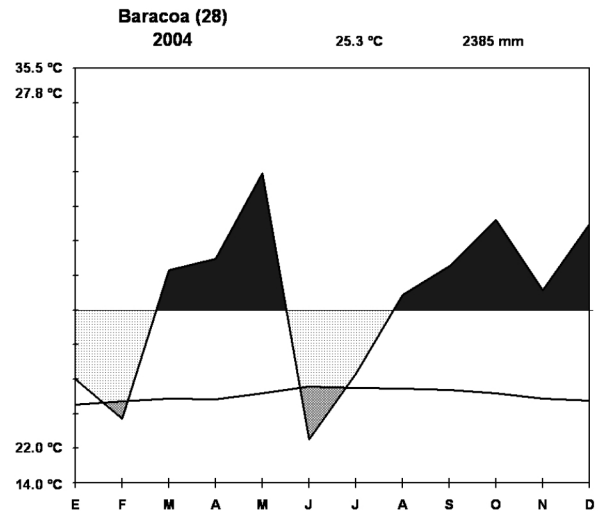
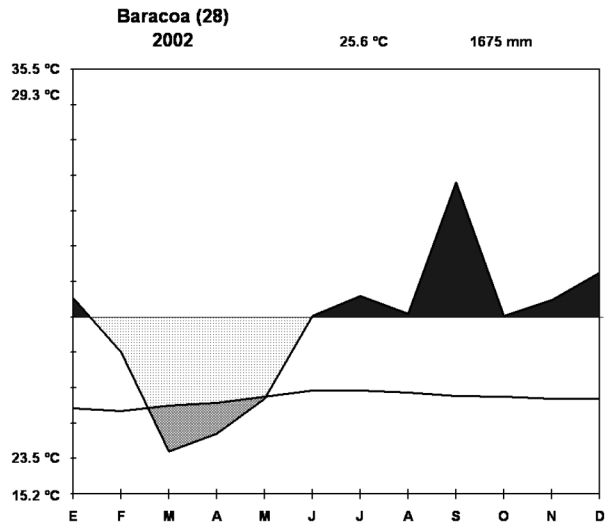
Carvalho, H. W.; Silva, M. L.; Cardoso, M. J.; Dos Santos, M. X.; Nilda, J. T.; Lemos de Carvalho, B. C.; Mauricio, M. A. e D. D. Medeiro: Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de Milho no Nordeste Brasileiro no ano agrícola de 1998 / 1999. *Agrotrópica*, 12 (1): 21 – 28, 2000.

Eskes, A. B.; Engels, J. M. and R. Lass: Working procedures for cocoa germplasm evolution and selection, *proceeding of the CFC/ICCO/IPGRI project workshop*, 1 – 6 February 1998. Montpellier - Fran-

- ce, International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italy, 2000.
- Estévez, A.; González, M. E.; Castillo, J. y J. Arzuaga: Comportamiento del rendimiento y la calidad culinaria de un grupo de clones y variedades cubanas de papa. *Cultivos Tropicales*, 17 (3): 72 – 76. 1996.
- International Cocoa Organization, Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics: *Cocoa year 2004/2005*, XXXI (2): 71, 2005.
- Kang, M. S. and H. G. Gauch: Genotype by environment interaction. CRC Press. New York. p. 5, 1996.
- Lanchenau, C.; Matamayor, J. C. and A. M. Risterucci: Implications of new insight into the genetic structure of *Theobroma cacao* L. for breeding strategies. Proc. Intern. *Workshop on New Technologies and Cocoa Breeding*. (eds. Bekele, F., End, M. and Eskes, A.). Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, pp. 89 – 107, 2001.
- Mather, S.; Sharmo, S. and S. Kumar: Description of variation in the Indian accessions of the medicinal plant centella asiatica (L) urban. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 135: 47 – 52, 2003.
- Ministerio de la Agricultura, Cuba: Instrucciones técnicas para el cultivo y cosecha de café y cacao, CIDA, La Habana, p. 176, 1987.
- Ministerio de la Agricultura, Cuba: Instituto de Suelo. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba, p. 64, Agrinfor, La Habana, 1999.
- Ortiz, O.; Maria, T.; López, B. O.; León, P. I. and C. H. López: Initial growth vigour and segregation in the international hybrid of cocoa Pound-7 x Rim-76 in Rosario Izapa, Chiapas State. In: *11 Cientific Technological Agricultural, Forestry and Husbandry Meeting (Proceedings)*. Huimanguillo, Tab. (Mexico). C E. Huimanguillo. p.399, 1998.
- Ramos, C. G.; Gómez, A.; La Cruz, C. y A. Azocar: Evaluación de una plantación de cacao Criollo Guasare. Relación entre la producción y parámetros de vigor. *Agronomía Tropical*, 15(2): 175 – 186, 2001.
- Romagosa, I.; Ha. Seullrich, F. and P. M. Hayes: Use of the AMMI model in QTL mapping for adaptation in barley. *Theory Applied Genetic*, 93: 30 – 37, 1996.
- Van Eeuwijk, F. A. and P. M. Kroonenberg: Multiplicative models for interaction in tree – way ANOVA, with applications to plant breeding. *Biometrics*, 54: 1315 – 1333, 1998.
- Varela, N. M.: “Los métodos Biplot como herramienta de análisis de interacción de orden superior en un modelo lineal / bilineal” [inédito], tesis de candidatura, Universidad de Salamanca, España, 2002.

Anexo Climogramas de Baracoa 1996-2004





	Lluvias por encima de 100 mm.
	Época húmeda del año.
	Época seca

Café Cacao PUBLICACIÓN SEMESTRAL



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRO-FORESTALES