

Selección de descriptores botánicos agronómicos para caracterizar el fruto de Copoazú (*Theobroma grandiflorum* Wild. Ex. Spreng) en el piedemonte amazónico colombiano

Wilmer Herrera-Valencia¹, Carlos Julio Escobar² & Dagoberto Criollo-Cruz³

¹ Grupo de investigación en Botánica. Universidad de la Amazonia, Florencia (Caquetá). Colombia.

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA – . Florencia (Caquetá). Colombia.

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA – . El Espinal (Tolima). Colombia.

Recibido 27 de mayo de 2009; aceptado 30 de noviembre de 2009

Resumen

En cinco unidades agroecológicas localizadas en el piedemonte amazónico colombiano (Departamentos de Caquetá y Putumayo), se evaluaron 15 descriptores botánicos utilizados para caracterizar el fruto de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Wild. Ex. Spreng), con el fin de seleccionar descriptores morfo-agronómicos adecuados y evaluar la eficiencia del descarte de descriptores redundantes. Los datos fueron procesados a través del análisis de componentes principales, usando la distancia euclidiana media, con selección de los descriptores basada en información simultánea de dos procedimientos. Para la evaluación de la eficiencia del descarte se usó la comparación de los agrupamientos formados por el método de Tocher entre los 15 caracteres totales y los seleccionados. De acuerdo con los dos procedimientos, en el primer criterio fueron preseleccionados 9 descriptores y en el segundo se seleccionaron 11. El descarte de los descriptores no ocasionó pérdida de la información. En consecuencia, 11 caracteres se consideraron relevantes en la evaluación del fruto de copoazú.

© 2009 Universidad de la Amazonia. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: copoazú, *Theobroma grandiflorum*, descriptores botánicos, piedemonte amazónico, Colombia.

Abstract

At five agroecologic units located in the Colombian Amazon piedmont (Departments of Caquetá and Putumayo), 15 botanic descriptors for characterizing fruit of copoazú (*Theobroma grandiflorum* Wild. Ex. Spreng) were evaluated with the aim of selecting suitable morpho-agronomic descriptors as well as to assess the efficiency of discarding redundant descriptors. Data were processed by using main component analysis with mean Euclidian distance and selection of descriptors based on simultaneous information from two different procedures. Comparisons among data clusters conformed by applying Tocher's method to total and selected descriptors were used to evaluate the discarding efficiency. According to the two procedures, 9 descriptors based on the first criterion were pre-selected and 11 on the second. The discarding of descriptors does not caused loss of information. There were found 11 outstanding descriptors to characterize the copoazú fruit.

© 2009 Universidad de la Amazonia. All rights reserved.

Key words: copoazú, *Theobroma grandiflorum*, botanic descriptors, Amazon piedmont, Colombia.

Introducción

El copoazú (*Theobroma grandiflorum* Wild. Ex. Spreng) es un frutal nativo de la Amazonia y es también una de las 22 especies que integran el género *Theobroma*. El copoazú actualmente está clasificado dentro de la familia Malvacea (Alrvenson *et al.* 1999).

Se conoce que es una especie con potencial bio-económico importante para la manufactura de productos cosméticos y de chocolatería fina. Sin embargo, la especie está en proceso de domesticación y, por consiguiente, en condiciones de cultivo presenta alta variabilidad en el número

de frutos por árbol, en la forma y tamaño de los frutos y en los caracteres productivos, como las cantidades de pulpa y almendra, entre otros.

Como no hay un listado patrón de descriptores botánicos agronómicos para la caracterización del fruto del copoazú, actualmente se emplean variables similares a las utilizadas en el cacao (*Theobroma cacao* L.) y especies afines. No obstante, se considera que deben existir un número de caracteres redundantes que pueden estar asociados a otros caracteres (Daher *et al.* 1997). Por ello, la reducción de descriptores redundantes puede disminuir el trabajo sin detrimento en la precisión de la caracterización (Pereira *et al.* 1992).

* Autor para correspondencia. E-mail: wilmer_br@yahoo.com.br

El análisis estadístico multivariado, en especial el de componentes principales, se ha usado como herramienta determinante en la identificación de descriptores con alto contenido de información para caracterizar germoplasma y para reconocer caracteres que poco contribuyen a la variación total (Cruz *et al.* 2004).

El objetivo de este trabajo fue seleccionar los descriptores botánicos agronómicos cuantitativos usados en la caracterización del fruto de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Wild. Ex. Spreng) de 40 accesiones localizadas en fincas del piedemonte amazónico colombiano (en los Departamentos de Caquetá y Putumayo) para evaluar la eficiencia de descarte de los caracteres redundantes.

Materiales y métodos

Se estudiaron 40 accesiones (Tabla 1) colectadas en el Centro de Investigación Macagual, en el Municipio de Florencia-Caquetá, y en pequeños huertos caseros en los Departamentos de Caquetá y Putumayo. Cada accesión fue conformada por tres individuos para un total de 120 árboles.

Descriptores botánico-agronómicos

Se analizaron 15 descriptores del fruto para cada accesión, representada aleatoriamente por tres árboles y de cada uno fueron estudiados cinco frutos (n=15).

Los frutos maduros fueron recogidos luego de su desprendimiento de las ramas de cada individuo y llevados al laboratorio, donde los descriptores fueron determinados.

La evaluación de las variables botánico-agronómicas fue realizada durante la cosecha del año 2007.

Los caracteres evaluados fueron los siguientes: diámetro del fruto (DF); longitud del fruto (LF); peso del fruto (PF); peso de la pulpa y de la semilla (PPS); peso de la pulpa (PP); peso de la cáscara (PC); peso de la semilla (PS); diámetro de la cáscara (DC); media del diámetro de la semilla (MDS); grosor de la semilla (GS); longitud de la semilla (LS); número de las semillas (NS);

porcentaje del peso de la semilla (% PS); Porcentaje del peso de la pulpa (%PP); porcentaje del peso de la cáscara (%PC).

La selección de los descriptores fue realizada por el análisis de componentes principales con el empleo de la distancia euclidiana media.

Este análisis de todos los caracteres fue realizado con base en la media de las medias de cada descriptor utilizando el Programa estadístico Bioestat 5.0 en la versión 2008 (Ayres, 2008), para descartar variables con poca influencia en la discriminación de los materiales estudiados.

Del análisis se seleccionaron los dos primeros componentes principales.

Segun Daher (1993), el método de componentes principales puede ser drástico, entonces se adoptaron tres métodos de descarte de variables: (i) selección de descriptores botánicos con mayor coeficiente de ponderación en valor absoluto (auto-valor), cuyo valor no debe exceder de 0,7 (Jolliffe 1972, 1973), (ii) selección con re-análisis, sugerida por Cury (1993), en la cual se descarta un carácter por análisis y se realiza nuevo análisis con los caracteres remanentes, y (iii) descarte de las variables apuntadas para descarte por los dos métodos, indicando consistencia de los métodos (método mixto).

Con el fin de auxiliar en la decisión de descarte de los caracteres redundantes en el método de selección con re-análisis, fueron estimados coeficientes de correlación de Pearson entre todos los caracteres, en el programa Bioestat 5.0.

La eficiencia del descarte fue analizada comparando todos los caracteres versus los descriptores seleccionados por el método de optimización de Tocher en el programa Bioestat 5.0.

Resultados y Discusión

Al analizar las estimaciones de los autovalores asociados a los componentes principales y sus respectivas varianzas relativas y acumuladas, se observa que los tres primeros componentes explican el 59 % de la variación total, en tanto que los dos primeros componentes representan el 48% de la variación total. A partir del tercer componente la variación se disminuye (Figura 1).

Tabla 1. Procedencias de las accesiones por localidad y unidad agroecológica donde fueron recolectadas.

Localidad o Municipio	Unidad agroecológica (Símbolo)	Accesiones (N°)
Centro de Investigaciones Macagual Florencia (Caquetá)	Kh (Terraza)	4 (A1, A2, A3, A4)
	Kc (Vega)	10 (A5...A9, A12, A37, A38, A39, A40)
	Kn (Lomerío)	5 (A21, A22, A10, A11, A17)
Puerto Rico (Caquetá)	Kk (Glacis)	2 (A23, A24)
Belén de los Andaquíes Florencia (Caquetá)	Kk (Glacis)	4 (A13, A14, A15, A16)
	Ku (Estribaciones)	3 (A18, A19, A20)
Villa Garzón (Putumayo)	Kk (Glacis)	4 (A31, A32, A33, A34)
Mocoa (Putumayo)	Ku (Estribaciones)	8 (A25, A26, A27, A28, A29, A30, A35, A36)

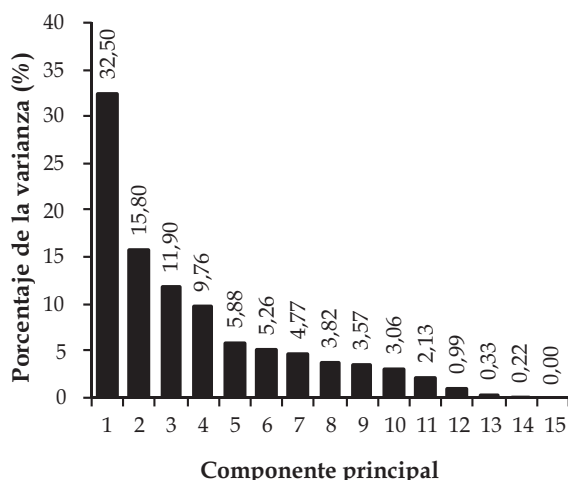


Figura 1. Análisis multivariado por componentes principales de los frutos de 40 accesiones de copoazú (*Theobroma grandiflorum* Willd. Ex. Spreng Schum) localizadas en el Piedemonte Amazónico.

Los dos primeros componentes corresponden al diámetro y longitud del fruto. La misma tendencia (acúmulo de la variación en los dos primeros componentes) es constatada por los trabajos de Alves *et al.* (2003) y Araújo *et al.* (2002) en esta especie.

Resultados parecidos fueron encontrados por Sugimura *et al.* (1997), con 24,3 % en los dos primeros componentes en *Coco nucifera*. De la misma forma, Strapasson *et al.* (2000) obtuvieron 42 % en el germoplasma de *Paspalum sp.*, y Daher *et al.* (1997) encontraron 44 % en la especie *Pennisetum purpureum* Schum. Dias *et al.* (1997) encontraron en el cacao un 73 % en los dos

primeros componentes y explicaron el hecho por el bajo número de caracteres evaluados.

Es importante destacar que el diámetro y la longitud del fruto son las características que más varían en la especie de copoazú. Probablemente, la explicación a esta variación sean condiciones ambientales y la flexibilidad fenotípica de la especie en esta variable. Para fines investigativos y programas de mejoramiento genético no se recomienda el estudio de estas dos variables.

Al realizar el primer descarte preliminar por selección directa, se verificó que los siete primeros componentes principales son descartados (DF, PF, PP, PP, PC, LF), debido a que estas variables presentaron un coeficientes de ponderación mayor de 0,7. Este resultado coincide con los resultados de Oliveira *et al.* (2006), en donde se descartaron las mismas variables (DF, PF, PP, PP, PC, LF).

En el segundo re-análisis se seleccionaron los cuatro últimos componentes, correspondientes al número de semillas y porcentajes de pulpa, cáscara y semillas.

Con relación al descarte preliminar usando la selección directa, se verifica que el primer carácter indicado fue el peso del fruto presentando el mayor coeficiente de ponderación en el primero componente principal (-0,55), siguiendo los caracteres número de semillas (0,54), luego el porcentaje de pulpa (0,48), longitud de semillas (0,71). Los mayores valores de ponderación se encontraron en los componentes principales 12, 11, 10 y 8 (Tabla 3).

Tabla 2. Estimación de los autovalores asociados a los componentes principales y sus varianzas relativas y acumuladas obtenidas de los 15 caracteres de los frutos evaluados en 40 accesiones de copoazú.

Componentes	Descriptores	Autovalores	Varianzas relativas (%)	Autovalores acumulados	Varianzas acumuladas (%)
C1	DF	4,8746	32,50	4,8746	32,50
C2	LF	2,3699	15,80	7,2445	48,30
C3	PF	1,7848	11,90	9,0293	60,20
C4	PPS	1,4645	9,76	10,4938	69,96
C5	PP	0,8821	5,88	11,3759	75,84
C6	PC	0,7892	5,26	12,1651	81,10
C7	PS	0,7160	4,77	12,8811	85,87
C8	DC	0,5731	3,82	13,4542	89,69
C9	MDC	0,5356	3,57	13,9899	93,27
C10	ES	0,4593	3,06	14,4492	96,33
C11	LS	0,3196	2,13	14,7688	98,46
C12	NS	0,1487	0,99	14,9174	99,45
C13	PS %	0,0492	0,33	14,9666	99,78
C14	PP %	0,0330	0,22	14,9996	100,00
C15	PC%	0,0004	0,00	15,0000	100,00

Tabla 3. Estimación de los coeficientes de ponderación asociados a los componentes principales con autovalores inferiores a 0,7 e identificación para descarte en cada componente por la selección directa de 40 accesiones de copoazú.

	15	14	13	12	11	10	9	8	7
DF	-0,1159	0,1169	-0,0421	0,2959	0,0841	0,1598	0,1017	0,1899	0,3452
LF	-0,2623	0,5319	-0,4655	-0,2343	0,2266	-0,2205	0,2057	-0,1131	-0,3234
PF	-0,5559	0,2570	0,2645	0,2368	-0,3183	0,1207	-0,3823	-0,2469	0,1237
PPS	-0,1954	-0,1022	0,4247	0,1677	0,5103	-0,3011	0,4743	-0,2315	0,2228
PP	-0,1584	-0,1882	-0,0526	0,0825	-0,0963	-0,6273	-0,1531	0,3571	0,0425
PC	0,1138	-0,0794	-0,0550	0,0802	0,0498	0,3009	0,0441	-0,2878	0,0488
PS	-0,0532	0,1857	0,1813	0,0086	-0,0308	0,0485	0,0971	0,7226	0,0401
DC	-0,3366	-0,1167	0,0223	-0,3397	0,3413	0,5400	0,0303	0,2922	-0,0123
MDC	0,1263	0,0873	0,0570	0,0003	0,0602	0,0627	0,1542	-0,0016	0,1460
GS	0,1385	0,0616	-0,1066	0,3687	0,6522	-0,0078	-0,6089	0,0582	-0,0969
LS	0,0243	0,0221	0,2554	-0,7122	0,1438	-0,1931	-0,3810	-0,1124	0,3139
NS	-0,5439	-0,5416	-0,3991	-0,0053	0,0234	-0,0197	-0,0145	-0,0507	0,0604
%PS	-0,1597	0,4788	-0,1301	0,0340	-0,0045	-0,0300	0,0220	-0,0128	0,3699
%PP	-0,2436	0,0510	0,4858	0,0161	0,0211	-0,0085	-0,0072	-0,0051	-0,5993
%PC	-0,0004	-0,0070	-0,0032	0,0003	-0,0029	0,0007	0,0013	-0,0022	0,2765

En este procedimiento se seleccionaron siete caracteres por considerarse redundantes conforme la secuencia de descarte: PF, NS, %PP, LS, GS, PP, PS. Como el procedimiento fue considerado drástico debido a que eliminó siete de quince descriptores botánicos agronómicos, se realizó el re-análisis para contrarrestar este efecto. En los descartes realizados por re-análisis fueron indicados cuatro caracteres en el siguiente orden: GS, LS, NS, %PS, (Tabla 4). Estos descriptores o caracteres infringieron las normas que habían sido pre-establecidas.

Cuando se hizo el análisis simultáneo de los dos procedimientos, se observaron los descriptores descartados como reincidentes en la descartada por ambos métodos, hecho que amortiguaba la drástica reducción de caracteres importantes en la especie.

Esto minimizaba los posibles errores en el descarte y, al mismo tiempo, contribuía a la reducción de costos y trabajo en la evaluación y caracterizaron de germoplasma de copoazú. En este orden de ideas, la reducción de descriptores descartados fue de 26,6 %, lo que indicó que esos descriptores no son recomendables para futuros programas de manejo y mejoramiento genético de la especie.

Entre tanto, es de rescatar que en el método aun pueden existir fallas debido a que se sugiere como descarte dos descriptores importantes; uno para la producción de semillas (% PS) y un descriptor

(número de semillas) importante en programas de mejoramiento genético.

Con relación a las estimaciones de correlación Pearson (Tabla 5) entre el conjunto de los descriptores redundantes y los 11 descriptores seleccionados, se verifica que el descarte no revela pérdida de información.

Por otro lado, se confirma que existe una fuerte asociación de las variables, sobre todo en los componentes %PP y %PC: a mayor cáscara, menor pulpa.

Tabla 4. Descriptores pre-seleccionados en los procedimientos de selección directa con re-análisis y los seleccionados para caracterización del copoazú.

Descriptor	Pre-Selección		Selección Final
	Selección directa	Selección re-análisis	
DF	X	X	X
LF	-	X	X
PF	-	X	X
PPS	X	X	X
PP	-	X	X
PC	X	X	X
PS	-	X	X
DC	X	X	X
MDS	X	X	X
GS	-	-	-
LS	-	-	-
NS	-	-	-
% PS	-	-	-
% PP	-	X	X
% PC	X	-	X

Tabla 5. Estimación de los coeficientes de correlación de Pearson entre los descriptores morfo-agronómicos seleccionados y los descartados evaluados en 40 accesiones de copoazú.

Seleccionados	Descartados			% PS
	GS	LS	NS	
DF	0,227	0,205	0,3843	-0,0968
LF	0,185	0,040	0,2627	0,022
PF	0,118	0,097	0,358	-0,194
PPS	0,280	0,148	0,585	-0,116
PP	0,199	0,171	0,418	-0,383
PC	0,322	0,094	0,383	-0,227
PS	0,337	0,048	0,7057	0,5031
DC	0,112	-0,004	0,1663	-0,090
MDS	-0,180	0,547	-0,042	-0,111
% PP	0,145			
% PC	0,026	-0,0207	-0,225	-0,051

Los 15 descriptores evaluados conforman 6 grupos distintos (Tabla 6), en tanto que los 11 descriptores seleccionados proporcionan la formación de cuatro grupos. Los resultados indican que los grupos formados con todos los descriptores y con los seleccionados sufren algunas modificaciones en cuanto a números de distribución pero presentan coincidencias relativas entre ellos.

Tabla 6. Grupos de disimilitud de 40 accesiones de copoazú procedentes de Putumayo y Caquetá, con base en 15 descriptores totales y 11 descriptores seleccionados.

Grupos	Descriptores
Con base en los 15 descriptores ¹	
1	DF, % PS, % PC, MDS, %PC
2	LF, DC, NS
3	PP, PS, LS
4	PF, %PP
5	PPS
6	GS
Con base en los 11 descriptores ²	
1	DF, MDS
2	LF, PPS, PC, %PP, PS
3	PF, PP, DC
4	% PC

¹ Mayor distancia entre los mínimos 1,14. ² Mayor distancia entre los mínimos 1,08.

Resultados similares fueron obtenidos por otros autores cuando también compararon la eficiencia de descarte por este método con la especie cacao (Días *et al.* 1997). Para Cury (1993), es normal que en un proceso de descarte agrupando varios caracteres haya pérdida de información.

Se estimó que las pérdidas en el descarte final fueron mínimas, una vez que los grupos formados con los caracteres remanentes se pueden considerar como más adecuados.

Conclusiones

Para la caracterización de los frutos de copoazú son importantes 11 descriptores.

Aunque el descarte representó el 26,66% de los descriptores, ello no ocasionó pérdida importante de la información.

Por el contrario, el descarte de los descriptores permitió una mejor dinámica para el manejo del germoplasma del copoazú.

Literatura citada

- Alverson, W. S., B. A. Whitlock, R. Nyffeler, C. Bayer & D. A. Baum. 1999. Phylogeny of the core Malvales: evidence from sequence data. *American Journal of Botany*, v. 89, pp: 1474-1486.
- Alves, R. M., A. A. F. García, E. D. Cruz & A. Figueira. 2003. Seleção de descritores botânico-agronômicos para caracterização de germoplasma de cupuaçuzeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, pp:807-818.
- Araújo, D. G. de, S. P. Carvalho & R. M. ALVES. 2002. Divergência genética entre clones de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Willd ex Spreng Schum). *Ciência e Agrotecnologia*, v. 26, pp:13-21.
- Ayres, M., M. Ayres, Jr., D. L. Ayres & A. Santos. 2007. Bio Estat 5.0, Aplicações estatísticas nas áreas das Ciências Biológicas e Médicas, Belém de Pará, PA. Brasil.
- Cury, R. 1993. Dinâmica evolutiva e caracterização de germoplasma de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) na agricultura autóctone do Sul do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP. Brasil.
- Daher, R. F., C. F. Morães & C. D. Cruz. 1997. Seleção de caracteres morfológicos em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.26, pp:247-259.
- Dias, I. A. dos S., P. Y. Kageyama & G. C. I. Castro. 1997. Divergência genética multivariada na preservação de germoplasma de caçao (*Theobroma cacao* L.). *Agrotrópica*, v. 9, pp: 29-40.
- Jolliffe, I. T. 1972. Discarding variables in a principal component analysis. I Artificial data. *Applied Statistics*, v. 21, pp: 160-173.
- Jolliffe, I. T. 1972. Discarding variables in a principal component analysis. I Real data. *Applied Statistics*, v. 22, pp: 31-31.
- Oliveira, M. S., D. F. Ferreira & J. B. Santos. 2006. Seleção de descritores para caracterização de germoplasma de açaizeiro para produção de frutos. *Pesq. Agropec. Brás. Brasília*, v. 41, n. 7, pp: 1133-1140.
- Pereira, A. V., R. Vencovsky & C. D. Cruz. 1992. Selection of botanical and agronomical descriptors for the characterization of cassava (*Manihot esculenta* Cranz) germoplasm. *Revista Brasileira de Genética*, v. 15 pp: 115-124.
- Strapasson, E., R. Vencovsky & L. A. R. Batista. 2000. Seleção de descritores na caracterização de germoplasma de *Paspalum* sp. por meio de componentes principais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, pp: 373-381
- Sugimura, Y., M. Itano, C. D. Salud, K. Otsuji & H. Yamaguchi. 1997. Biometric analysis on diversity of coconut palm: cultivar classification by botanical and agronomical traits. *Euphytica*, v. 98, pp: 29-35.