

Análisis de diversidad genética de las razas colombianas de maíz a partir de datos Roberts *et al.*, (1957) usando la estrategia Ward-MLM

Genetic Diversity of Colombian Landraces of Maize from Roberts et al., (1957) data using Ward-MLM Strategy

José O. Cardona ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira, Programa Doctorado en Ciencias Agropecuarias énfasis Mejoramiento Genético y Producción de semillas, omarcadona2002@yahoo.com

Resumen

El presente estudio muestra un análisis exploratorio de la diversidad genética de las razas colombianas de maíz, a partir de datos contenidos en el documento 'RAZAS DE MAÍZ EN COLOMBIA' usando la estrategia Ward-MLM. Esta estrategia permitió revalidar los tres grupos raciales establecidos por los autores y propone un nuevo agrupamiento, en el que se muestra un incremento importante en el número de razas 'Primitivas' (de dos a cinco) y reducción en el número de razas 'Híbridas colombianas' (de doce a nueve). El número de razas 'Probablemente Introducidas' se mantiene, mostrando cinco variaciones importantes. La estrategia Ward-MLM es un aporte metodológico que permitió revalidar datos históricos y redefinir los grupos raciales y su eficiencia está documentada ampliamente en valoración de recursos genéticos y más recientemente clasificando agricultores por variables socioeconómicas. Marcadores genéticos moleculares y programas de análisis genético de poblaciones, son requeridos como soporte para redefinir la información generada por este documento respecto a número de razas y grupos raciales contenidos en el Banco colombiano de maíz.

Palabras clave: Razas colombianas de maíz, Diversidad genética, Datos Roberts et al., Descriptores para maíz, Estrategia Ward-MLM.

Abstract

Current study shows an exploratory analysis of genetic diversity in Colombian landraces of maize from data contained in 'RAZAS DE MAIZ EN COLOMBIA' report using Ward-MLM strategy. This strategy allowed to renew the three racial groups (primitives, hybrids, introduced) established by Roberts et al in 1957, and proposes new groups with important increase in number of primitive races (two to five), reduction in number of Hybrid races (Twelve to nine). Races 'probably introduced' are showing five important variations. Ward-MLM strategy is a methodological contribution that allowed to renew historical data and to redefine the racial groups and their efficiency is documented widely in valuation of genetic resources and more recently classifying small-scale farmers by socioeconomics variables. Molecular markers and Population Genetics program are required like support the information generated by this document both number of races and contained racial groups in the Colombian Maize Bank

Keywords: Colombian landraces of maize, Genetic diversity, Data Roberts *et al.*, Maize Descriptors, Ward-MLM Strategy

INTRODUCCIÓN

DIVERSIDAD GENÉTICA es la multiplicidad de frecuencias alélicas presentes en un grupo de individuos, que junto con el ambiente proveen la naturaleza del fenotipo y es base fundamental en programas de mejoramiento. Explorar la diversidad genética de especies cultivadas de importancia económica es tarea fundamental en todo programa de investigación agrícola.

Las regiones tropicales son únicas en diversidad de formas complejas en áreas relativamente pequeñas y contiguas, esto hace que exista mayor segregación, expresión genética, adaptaciones específicas, alta variabilidad y rapidez en el hallazgo de formas nuevas. La gran diversidad de los maíces exóticos en Suramérica guarda relación con su geografía e historia. El aislamiento geográfico permitió el desarrollo de nuevas formas principalmente en las tierras altas (Roberts et al., 1957; Timothy et al., 1966; Sevilla, 1985). No obstante, la erosión genética está empezando a sentirse (Sevilla, 1985; Salhuana et al., 1991).

Datos de curadores de países latinoamericanos (CIMMYT, 1989. Proceedings of the Global Maize Germoplasm Workshop) reportan 27.763 accesiones de maíz, de las cuales alrededor de 16.380 están en Meso-América y entre 11.383 y 12.113 (Díaz, 1988) en Suramérica (Tabla, Julio-Noviembre de 2002). El SNB de ICA-MAGDR de Colombia reporta, a Junio de 2004, dos mil doscientas accesiones de razas colombianas de maíz.

La diversidad genética (polimorfismos) contenida en el germoplásma de maíces exóticos ha sido fuente importante nuevos alelos para mejoradores de maíz en todo el mundo (Anderson & Cutler, 1942; Wellhausen et al., 1957; Goodman, 1965-1985-1992; Goodman & Bird, 1977; Brown & Goodman, 1977; Sevilla, 1985; Salhuana, 1985; Albertch and Dudley, 1987; Goodman and Brown, 1988). El uso de una fracción de este germoplásma en el programa norteamericano de mejoramiento de maíz, fue sugerido inicialmente por Anderson & Cutler en 1942 y desarrollados por Brown (1953), Wellhausen (1965), Echandi and Hallauer (1966), Hallauer (1972-1978) Hallauer and Sears (1972), Gadelman (1984), Holland and Goodman (1995), Echandi and Hallauer (1996) para incrementar la variabilidad genética y las posibilidades de heterosis en el germoplásma de zonas templadas y como posible fuente de resistencia y/o tolerancia a factores de estrés biótico y abiótico.

Estudios sobre razas suramericanas de maíz han sido realizados por Paterniani and Goodman (1977), Paterniani (1985), Salhuana et al. (1991-95), Miranda-Filho (1992), Díaz (1988, 1989a-b-c). Documentos sobre GRMC son reportados por Roberts et al., (1957), LAMP (1986-1995), Torregroza (1972), Ligarreto (1998) y Arias y Castro (2000).

Evaluaciones sobre el germoplásma nativo de maíces suramericanos fueron realizadas el proyecto LAMP en el periodo 1985-1992 y el proyecto USDA-ARS/GEM a partir de 1998 hasta 2005 con el estudio de germoplásma nativo de maíz de todas partes del mundo, identificando caracteres y genes especiales para mejorar los sistemas de producción y hallar nuevos valores agregados para la industria (USDA-ARS GEM Project, 2001-2005). Este tipo de investigación ayudará a los mejoradores a agregar diversidad a los híbridos norteamericanos y es considerada como un seguro contra los factores de estrés biótico y abiótico, debido a que el cultivo del maíz en USA tiene un costo anual de 28 billones de dólares (USDA-ARS GEM, Project, 2001-2005).

CIMMYT (1999) realizó un análisis de la diversidad genética contenida en aproximadamente 1746 accesiones colombianas de 12.046 accesiones de maíces latinoamericanos, con base en evaluaciones de campo. La información contiene relevantes datos estimados para una colección núcleo de accesiones -20%- de la colecta con representación grafica (cluster) de los agrupamientos. Ver A-Core Subset of LAMP-From the Latinoamerican Maize Project 1986-1988. La versión de junio de 1995 de datos del Proyecto Latinoamericano de Maíz muestra datos generados por CIMMYT para Suramérica sobre las secciones de maíz evaluados por el proyecto LAMP. Ver datos LAMP- Versión Junio de 1995. El PNRGBV de CORPOICA tiene publicados algunos datos de curador de cada una de las accesiones que compone el banco de germoplásma de razas colombianas de maíz en www.corpoica.org.co.

El uso potencial de las razas colombianas de maíz fue reconocido hace más de 50 años. Los primeros análisis exploratorios fueron realizados por E. Chavarriaga-M y E.W. Lindstrom en 1947 y en 1952 por el grupo de trabajo conformado por L.M. Roberts, U.J. Grant, R. Ramírez-E, W.H. Hartherway y D.L. Smith con la colaboración de P.C. Mangelsdorf, quienes documentaron la diversidad genética contenida al interior de los GRMC y su uso potencial en programas mundiales

de mejoramiento. Estos estudios fueron continuados, en 1962 por el ICA en su programa "Estudio y Conservación del Banco de Germoplasma Nacional de Maíz como fuente de nuevos genes" (Arboleda, 1986) y más recientemente el SNB del PNRGBV de CORPOICA, C.I. Tibaitatá.

Veinte y tres razas de maíces colombianos, agrupadas, en tres categorías en relación con su origen probable, fueron reconocida por Robert et al., en 1957. Estas son: 'Razas Primitivas' (con dos grupos raciales), 'Razas probablemente Introducidas' (que incluye nueve grupos raciales) y 'Razas Híbridas originadas en Colombia' (con doce grupos raciales). Estos autores identificaron además, cuatro factores de evolución que contribuyeron a la formación de dichas razas en Colombia: (i) aislamiento geográfico, (ii) hibridación interracial, (iii) hibridación con maíces contaminados con Teocintle procedentes de México e (iv) hibridación del maíz con su pariente silvestre *Tripsacum*. Colombia como centro de convergencia y de difusión ha sido un importante centro de origen de variedades nuevas. Los criterios de clasificación usados por este grupo de investigación fueron: distribución geográfica, caracteres botánicos, caracteres fisiológicos y citológicos -nudos cromosómicos (McClintock et al., 1981)-.

Las 23 razas incluidas en este estudio, forman parte de la colección colombiana de maíz, de aproximadamente 4800 entradas (SNB-CORPOICA), que por su tamaño ocupa la posición quinta después de Fort Collins, México, Brasil y Argentina (CIMMYT INT Annual Report, 2002).

El banco colombiano de razas criollas posee genotipos con adaptación a todos los pisos térmicos y que por años fueron cultivados y seleccionados por nuestros antepasados campesinos. La colección está conformada con base en colectas hechas en la década del 50 y 60. La información genética de estas accesiones, de las cuales queremos potencializar su uso, es escasa o completamente desconocida en nuestro país, con excepción de algunos datos de pasaporte y unas evaluaciones agronómicas muy preliminares.

Una reevaluación sistemática de todo el GRMC por caracteres morfoagronómicos aun no se ha hecho, debido probablemente a que estas son costosas en tiempo y uso de recursos, además de que su conocimiento en nuestro medio, es escaso (Salhuana y Sevilla, 1985).

Con el incremento de 1007 (en 1957) a 2200 (en el 2005) accesiones contenidas en el SNB, se plantea aquí la hipótesis de que es posible que el número actual de razas y grupos raciales sea diferente a los inicialmente identificadas en 1957. El paso inicial para resolver esta incógnita es reevaluar la metodología analítica usada por Robert et al., en 1957 para definir razas y grupos raciales, bajo el supuesto de que, metodologías analíticas modernas y más sofisticadas, permiten reevaluar dicha información e inferir sobre los resultados obtenidos.

Con base en este planteamiento se propone como principal objetivo, redefinir las razas y grupos raciales a partir de cuatro fuentes de información incluyendo los datos generados por Robert et al., (1957) mediante el uso de la estrategia Ward-MLM.SAS (Franco et al., 1998; 1999; Franco et al., 2002; Franco and Crossa, 2002). Este objetivo genera como objetivos específicos: (i) determinar el número de grupos raciales, (ii) establecer el número total de razas, (iii) Identificar cada una de las razas contenidas en cada grupo racial, (iv) determinar el número de variables de respuesta efectivas, (v) Evaluar la eficiencia de la estrategia Ward-MLM.SAS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos Roberts et al., (1957). Sobre la matriz de datos cuantitativos $n=21$ razas \times $p=56$ descriptores reportados por Roberts et al., (1957), se realizó un análisis de Componentes Principales -CP- para identificar el número mínimo de descriptores efectivos. La ventana LOG del programa PRINCOMP.SASV8e, no mostró restricción al uso de una matriz $n \ll p$.

La matriz resultante $n=21$ razas-NOBS \times los p componentes principales seleccionados, debe ser guardada en la librería 'C:\ SASMLM'. Instrucciones en el Anexo 3. Componentes principales, de variables cualitativas y cuantitativas, calculados mediante los programas PRINQUAL.SAS y PRINCOMP.SAS permite seleccionar variables efectivas con valores propios mayores a 1, para ser usados con la estrategia Ward-MLM.SAS y conformar los agrupamientos.

La matriz de datos reportados por Robert et al., (1957) debe ser digitada en formato Excel en un computador Pentium 4 o superior, cargado con los programas Excel y SASV8e (2001). Ingrese el programa WARD-MLM1-2-3.SAS' utilizando la 'guía para la utilización del programa' desarrollado por Franco y Crossa (s.f.). El

programa está dividido en tres bloques sugeridos por la clasificación (Franco et al., 1998) para el agrupamiento de observaciones utilizando variables continuas y categóricas. El uso de la estrategia Ward-MLM se define en los siete pasos descritos en el Anexo 3.

La metodología Ward-MLM.SAS usa una serie de herramientas estadísticas que incluyen el software CLUSTAN desarrollado por Wishart (1987) combinado con LRT (Likelihood Ratio Test) y LLP (Log-Likelihood Profile) (Franco et al., 2002). MLM es la segunda modificación hecha por Lawrence and Krzanovski en 1996 y posteriormente por Franco et al., en 2002, al modelo Gaussiano que combina los niveles de todas las variables categóricas en una variable multinomial única W (Franco y Crossa, 2002). Los resultados de la clasificación propuesta por Franco et al., (2002) serán comparados con los agrupamientos propuestos por Roberts et al., (1957).

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis comparativo de fuentes de información: Datos Roberts et al.,-1957- 'RAZAS COLOMBIANAS DE MAIZ' editado por el D.I.A. en 1957 es el único documento, hasta la fecha, que reporta una identificación y clasificación de maíces criollos colombianos. Los autores -Roberts et al., (1957)- documentan la presencia en Colombia de veinte y tres razas, reagrupadas en tres categorías. Aunque se desconoce la metodología analítica utilizada por los autores, un análisis comparativo muestra que es muy probable que hayan hecho uso de las herramientas de estadística multivariada, desarrollada por K. Pearson en 1901 y posteriormente por Spearman (1904), Hotelling (1933) y Eckart and Young (1936).

A la fecha de edición del documento, -RAZAS DE MAÍZ EN COLOMBIA en 1957,- ya se conocían: (i) modelos analíticos para obtener componentes principales de variables cuantitativas (Pearson, 1901; Hotelling, 1933) y cualitativas (Eckart and Young, 1936; Fisher, 1938; Siegel, 1956), (ii) modelos analíticos para realizar agrupamientos (Spearman, 1904; Fisher, 1936; Sorensen, 1948; Rao, 1955), (iii) modelos para análisis de correspondencia (Hirshfield, 1935; Fisher, 1940; Guttman, 1941; Hayashi, 1950), (iv) modelos para análisis discriminante (Rosenbatt, 1956) y (v) modelos para análisis de frecuencias (Cochran, 1954; Goodman and Krustal, 1954).

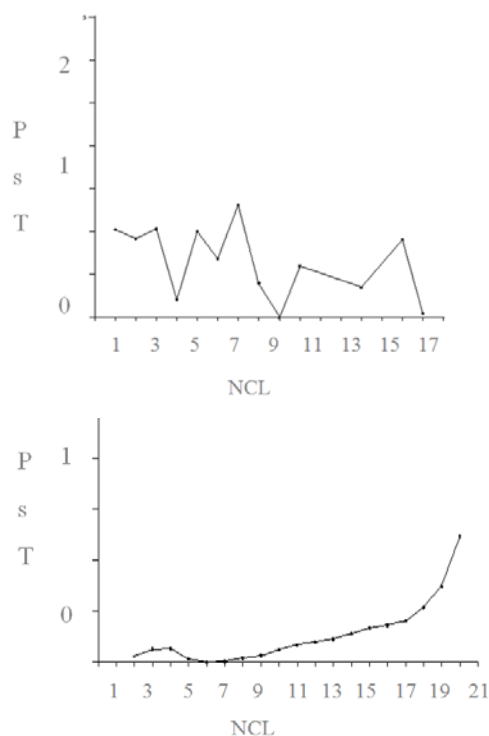


Fig. 1. Valores de Pseudo F y Pseudo T^2 para estimación preliminar del número aproximado de grupos (g') con base en valores promedio de datos compilados por Roberts *et al.*, (1957).

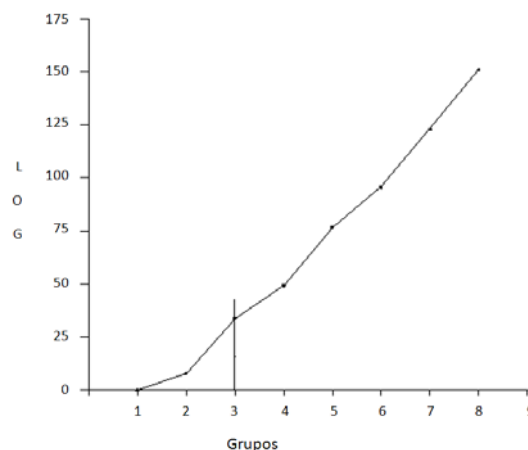


Fig. 2. Logaritmo de la función de verosimilitud maximizada para definir el número apropiado de razas con base en valores promedio de datos Roberts *et al.*, (1957), usando la estrategia WARD-MLM (Franco et al., 1998-1999-2002; Franco and Crossa, 2002).

El análisis de componentes principales-, PRINCOMPSASV8e, 2001-(Cuadras, 1996; Díaz, s.f.) muestra que, veinte componentes –de un total de 56 evaluados- explican el 100% de la varianza contenida en la matriz de datos reportados por Roberts et al., (1957). De estos veinte-componentes principales-, doce alcanzan el valor de vector propio mayores a 1. Estos doce – primeros componentes-, fueron procesados mediante la estrategia Ward-MLM.SAS (Franco et al., en 1998-1999-2002; Franco and Crossa, 2002) para determinar el número más probable de grupos raciales (Figura 1) contenidos en la matriz de datos reportados por Roberts et al., (1957). Datos disponibles en el Anexo 1. El programa Ward-MLM1.SAS utilizando valores promedio de la matriz de datos contenidos en Robert *et al.*, (1957), confirma la presencia de máximo ocho grupos raciales (Franco y Crossa, guía metodológica, s.f.).

El bloque Ward-MLM2.SAS, definió el número apropiado de razas ($g=3+5$) mediante la observación de los saltos de verosimilitud para los diferentes número de grupos. El número más pequeño de grupos en el cual ocurre el primer salto importante en verosimilitud fue, tres (Fig. 2), con base en valores promedio por cada raza. Ward-MLM2.SAS permitió revalidar los tres grupos raciales establecidos por los autores.

El bloque Ward-MLM3.SAS realizó el análisis MLM completo para el número de grupos (g') definido en el bloque 2. El anexo 2 muestra la clasificación inicial y final de las observaciones (Franco y Crossa, guía metodológica, s.f.). Los resultados sugieren un cambio importante en la distribución de las razas dentro de cada uno de los grupos raciales como se muestra en la tabla 1.

Con cincuenta y seis características establecidas por Roberts *et al.*, (1957) contenidas en el anexo 1, los autores definieron: dos razas primitivas –Pira, Pollo-, siete razas probablemente introducidas –Pira Naranja, Clavo, Guirúa, Cariaco, Andaquí, Imbricado y Sabanero- y doce razas híbridas colombianas –Cabuya, Montaña, Capiro, Amagaceño, Común, Yucatán, Cacao, Costeño, Negrito, Puya, Puya Grande y Chococeño-.

La estrategia Ward-MLM.SAS propone un nuevo agrupamiento en el que sobresale un incremento importante en el número de razas ‘Primitivas’, de dos asciende a cinco, y la reducción en el número de razas ‘Híbridas

colombianas’, de doce desciende a nueve. El número de razas ‘Probablemente Introducidas’ se mantiene, sufriendo cinco variaciones importantes como se observa en la Tabla 1. Fue el grupo racial con mayor número de variaciones. Esta variación grande puede explicar el término ‘probable’ usado por los autores.

Las variaciones en el número de razas por grupo racial son debidas, básicamente, a la metodología analítica –distinta- usada por cada autor. Programas y equipos de última generación permiten un tratamiento más exhaustivo de datos. No obstante, la metodología usada para definir las razas criollas de maíces colombianos en la década del 50, fue muy precisa, comparada con los resultados obtenidos usando la estrategia Ward-MLM desarrollada a finales del siglo XX.

Tabla 1. Agrupamientos propuestos por Roberts et al., (1957) y los determinados mediante la estrategia Ward-MLM (Franco et al., 1998-1999-2002; Franco and Crossa, 2002) sobre la (misma) base de datos de ‘RAZAS DE MAÍZ EN COLOMBIA’.

Grupo Racial	Roberts <i>et al.</i> (1957)	Ward-MLM (Franco <i>et al.</i> , 2002)
	Raza	Raza
Primitivas	Pollo	Pollo
	Pira	Pira
Introducidos		Pira Naranja
		Clavo
		Imbricado
	Guirúa	Guirúa
	Andaquí	Andaquí
	Pira Naranja	Amagaceño
	Cariaco	Común
Híbridos	Clavo	Yucatan
	Imbricado	Cacao
	Sabanero	Puya Grande
	Montaña	Montaña
	Cabuya	Cabuya
	Capiro	Capiro
	Costeño	Costeño
	Negrito	Negrito
	Puya	Puya
	Chococeño	Chococeño
	Amagaceño	Cariaco
	Común	Sabanero
Yucatán		
Puya Grande		
Cacao		

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de este estudio confirman la presencia de los tres grupos raciales de maíces colombianos, definidos por el grupo de trabajo conformado por L. M. Roberts, U. J. Grant, R. Ramírez-E, W. H. Hatherway y D. L. Smith en la década del 50. La variación en el número de accesiones y la conformación final de cada grupo racial pueden ser debidas a las interacciones de tipo ambiental y Epistático (Tanksley, 1983) que modifican marcadores genéticos morfológicos cualitativos y cuantitativos durante la valoración de diferentes genotipos. De hecho, cada caracterización que se haga a un individuo o grupo de individuos, genera información distinta sobre un mismo carácter (Crossa, 1995).

Por su calidad, los datos de Roberts *et al.*, (1957) son fuente única de información sobre la clasificación de razas y grupos raciales de maíces colombianos. La concordancia entre los agrupamientos hechos por Roberts *et al.* y los resultados arrojados por la estrategia Ward-MLM.SAS (Franco *et al.*, 1998-1999-2002; Franco and Crossa, 2002), permite concluir que el grupo de trabajo que identificó las razas colombianas de maíz, hicieron uso de herramientas estadísticas multivariadas disponibles en su época.

El uso de herramientas de análisis distintas, sobre un mismo grupo de datos, genera resultados distintos; y es muy probable que nuevas estrategias a ser desarrolladas a futuro inmediato puedan redistribuir las asignaciones obtenidas con la estrategia Ward-MLM.SAS.

Los marcadores genéticos moleculares (Tanksley, 1983) y programas de análisis como SAS/GENETICS 9.1, se ofrecen como alternativa para dar soporte y redefinir tanto los datos originales como los generados en este documento.

La estrategia Ward-MLM.SAS fue probada usando: (i) la matriz de datos $n=21$ razas \times $p=20$ CP que explicaron el 100% de la variación contenida en la matriz de datos originales y (ii) una segunda matriz $n=21$ razas \times $p=12$ CP con vectores propios mayores a 1. Los agrupamientos fueron idénticos, explicando la eficiencia de los CP y de estrategia Ward-MLM.SAS. Ver Anexo 4. Además, la eficiencia de la estrategia WARD-MLM.SAS está documentada ampliamente en valoración de recursos genéticos hechas por Franco *et al.*, (1998), Taba *et al.* (1998, 1999), Franco *et al.*, (1999), Franco *et al.*, (2002) y mas

recientemente clasificando agricultores por variables socioeconómicas (Crossa *et al.*, s.f.).

La complementación del análisis mediante el uso de PRINQUAL-SASV8e (2001) y PRINCOMP-SASV8e (2001) permitió identificar variables de respuesta efectivas e hizo más eficiente el uso de la estrategia Ward-MLM.SAS y surge como una modificación al modelo analítico planteado. La reducción del tamaño original de la matriz reportada por los clasificadores de las razas colombianas de maíz en la década del 50 usando CP, potencializó el uso de la estrategia Ward-MLM.SAS.

PRINCOMP.SASV8e (2001) no restringe el uso de matrices $n \ll p$ ni de variables cualitativas (binomiales y nominales) siempre que estas últimas sean numéricas. No obstante, toda variable categórica reportada por el LOG, deben ser excluidas del análisis (SAS, 1989a-b).

Este documento plantea el uso de un análisis de CP previo a la utilización de la estrategia Ward-MLM.SAS.

BIBLIOGRAFIA

Literatura revisada

- Albertcht, B. and Dudley, J.W. (1987). Evaluation of four maize populations containing different populations of exotic germplasm. *Crop Sci.* 27:480-486.
- Anderson, E & Cutler, H.C. (1942). Races of Zea mays: I. Their recognition and classification. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 29:69-89.
- Arboleda-R, F. (1986). Informe de gerencia 1986. ICA. Programa Nacional de maíz, CRI La Selva. Rionegro-Antioquia (Colombia). 10 pp.
- Arias-C.,Y., D.I. Castro. 2000. Caracterización morfológica de la colección de maíz (*Zea mays* L.) criollo de la región Caribe Colombiana. Tesis Ing. Agr. Universidad de Córdoba. Facultad de Ingeniería Agronómica. Montería. 105 pp.
- Brown, W.L. (1953). Source of germplasm for hybrid corn. *In: CORN INDUSTRY-RESEARCH CONFERENCE*, 8. Chicago, 1953. Proceedings Washington: American Seed Trade Ass, 1953. p. 11-19.
- Brown, W.L. and Goodman, M.M. (1977). Races of Maize. *In: Corn and Improvement* (Sprague G.F. and Dudley, J.W. eds.) ASA, Madison, pp 40-88.
- Crossa, J., M.R. Bellon, J. Franco. (s.f.). A Quantitative Method for Classifying Farmers Using Socioeconomic Variables.....

- Crossa, J., K. Basford, S. Taba, I. DeLacay, and E. Silva. (1995). Three mode analyses of maize using morphological and agronomic attributes measured in multilocation trials. *Crop Sci.* 35:1483–1491.
- Cuadras, C.M. (1996). *Métodos de análisis Multivariado*. 1ª Edición EUB, SL. Limpergraf, S.A. Barcelona. 644 pp.
- Díaz-M, L.G. (s.f.). *Estadística Multivariada: inferencia y métodos*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Santafé de Bogotá, Facultad de Ciencias, Departamento de Matemáticas y Estadística.
- Díaz-A, C., M.E. Botero-E., Arboleda-R, F. (1988). Banco de germoplásma de maíz de Colombia. *En: Taller Mundial sobre Bancos de Germoplásma de Maíz*. México, Marzo de 1988. 28 pp.
- Díaz-A. C., 1989a. Actividades del programa de maíz durante 1989. ICA Subgerencia de investigaciones y transferencia, división de cultivos anuales, Programa Nacional de Maíz. Regional 4, E.E. 'Tulio Ospina', Medellín. 54 pp.
- Díaz-A.C. 1989b. Actividades del programa de maíz en la E.E. ICA.
- Díaz-A.C. 1989c. Programa de Maíz Estación Experimental Tulio Ospina. Informe 1989. Actividades del Programa Nacional de Maíz durante 1989. ICA. Regional 4, E.E. Tulio Ospina, Medellín. 27 pp.
- Echandi, C.R., and A.R. Hallauer. (1995). Performance of crosses between US maize belt and adapted tropical maize cultivars (Abstract) p.93. *In: Agronomy Abstracts*. ASA, Madison, W.I.
- Echandi, C.R., and Hallauer, A.R. (1996). Evaluation of US corn belt and adapted tropical maize cultivars and diallel crosses. *Maydica* 41:317-324.
- Franco, J., J. Crossa, J. Villaseñor, S. Taba, and S.A. Eberhart. (1998). Classifying genetic resources by categorical and continuous variables. *Crop Sci.* 38(6):1688–1696.
- Franco, J., J. Crossa, J. Villaseñor, S. Taba, and S.A. Eberhart. (1999). A two-stage, three-way method for classifying genetic resources in multiple environments. *Crop Sci.* 39:259–267.
- Franco, J. D., J Crossa-H. (s.f.). *UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA WARD-MLM*. Guía para utilización de la estrategia WARD-MLM para el agrupamiento de observaciones utilizando variables continuas y categóricas simultáneamente. 4 pp.
- Franco, J., J. Crossa. (2002). The Modified Location Model for Classifying Genetics Resources: I. Association between Categorical and Continuous Variables. *Crop Sci.* 42: 1719-1726.
- Franco, J., J. Crossa, S. Taba, S.A. Eberhart. (2002). The Modified Location Model for Classifying Genetics Resources: II. Unrestricted Variance-Covariance Matrices. *Crop Sci.* 42: 1727-1736.
- Geadelman, J.L. (1984). Using Exotic Germoplasm to improve northern corn. *In* Proceeding of the 39th Annual Corn and Sorghum Industry Research. Conf. Chicago, IL. 5-6 Dec. 1984. Am. Seed Trade Assoc., Washington, D.C.
- Goodman, M.M. (1965). Estimates of genetic variance in adapted and exotic population of maize. *Crop Sci.* 5:87-90.
- Goodman, M.M. (1985). Exotic Maize Germoplasm: Status, prospects, and remedies. *Iowa State J. Res.* 59:497-527.
- Goodman, M.M., & Brown W.L. (1988). Races of corn. *In: G.F. Sprage & J.W. Dudley*, eds. *Corn and corn improvement*, 3rded., p.33-79. Madison, W.I, USA, American Society of Agronomy.
- Goodman, M.M., & Bird, R. McK. (1977). The races of maize. IV Tentative grouping of 219 Latin American races. *Eco. Bot.* 31:204-221.
- Goodman (1983),
- Gower, J.C. (1971). A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27:857–874.
- Hallauer, A.R. (1978). Potential of exotic germplasm for maize improvement. *In: Maize Breeding and Genetics*(Walden, D.B., ed). John Wiley & Sons, N.Y., pp 229-247.
- Hallauer, A.R., and Sears, J.H. (1972). Integrating exotic germplasm into Corn Belt maize breeding program. *Crop Sci.* 12:203-206.
- Holland, J.B., and Goodman, M.M. (1995). Combining Ability of Tropical Maize accessions with U.S. Germoplasm. *Crop Sci.* 35: 767-773.
- LAMP. (1986). A-Core Subset of LAMP- From the Latinoamerican Maize Project 1986-1988. CIMMYT, Mexico DF.
- LAMP. (1995). Proyecto Latinoamericano de Maíz. Versión Junio de 1995. CIMMYT, Mexico, DF:
- Ligarreto, G. A. Ballén, D. Huertas. (1998). Evaluación de las características cuantitativas de 25 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) de la zona Andina. *Rev. Corpoica*. Vol. 2. No. 2 de Junio de 1998.
- McClintock, B., Kato-Y, T.A. & Blumenshein, A. (1981). Chromosome constitution of races of Maize. Chapingo, Mexico, Colegio de Posgraduados.
- Miranda-Filho, J.B., (1992). Exotic germplasm introduced in a Brazilian maize breeding program. *Rev. Braz. Genet.* 15:631-642.
- Paterniani, E. and Goodman, M.M. (1977). Races of Maize in Brazil and adjacent areas. CIMMYT, Mexico City.
- Pollak, L.M. & Corbett, J.D. (1993). Using GIS data sets to classify maize-growing regions in México and Central America. *Agron. J.*, 85:1133-1139.

- Roberts L.M., U.J. Grant, R. Ramírez-E, W.H. Hatherway, D.L. Smith. (1957). RAZAS DE MAIZ EN COLOMBIA. D.I.A. Ministerio de Agricultura de Colombia. Oficina de Investigaciones Especiales. Boletín Técnico No.2 Bogotá D.E.
- Salhuana, W. (1985). Pasos requeridos para incrementar el uso de las adquisiciones exóticas. *En*: Reporte del Foro Latinoamericano sobre investigación en Fitomejoramiento. 11-13 Noviembre de 1985. Caracas- Venezuela "América Latina y sus Recursos Abundantes de Alimentos para el Futuro".
- Salhuana, W., Q Jones, R. Sevilla. (1991). The Latin American Maize Project: Model for rescue and use of irreplaceable Germoplasm. *Diversity* 7:40-42.
- Salhuana, W., R. Sevilla. (1995). Latin American Maize Project (LAMP): Stage 4 results from homologous areas 1 and 5. LAMP, La Paz 1337, Lima, Perú.
- Salhuana, W., R. Sevilla, S.A. Eberthart. (1998). Latin American Maize Project-LAMP. Stage 4. Results from Homologous areas 2,3 and 4. November 1998.
- Sevilla, R. (1985). Disponibilidad y Utilización de Germoplásma de Cultivos Alimenticios en Latinoamérica. *En*: Reporte del Foro Latinoamericano sobre investigación en Fitomejoramiento. 11-13 Noviembre de 1985. Caracas- Venezuela "América Latina y sus Recursos Abundantes de Alimentos para el Futuro".
- Timothy, 1966. Razas de maíz en Ecuador. D.I.A. Ministerio de Agricultura de Colombia. Oficina de Investigaciones Especiales. Boletín Técnico No. Bogotá D.E.
- SAS Institute Inc., SAS/STAT. (1989). User guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2, Cary, NC: SAS Institute Inc., 846 pp.
- SAS Institute Inc., SAS/STAT. (1989). User guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 3, Cary, NC: SAS Institute Inc., 890 pp.
- SAS Institute. (2001). Data analysis Sample programs [online]. [6 p.] Available at: www.sas.com/techsup/download/stat [modified 1Mar. 2002; verified 21 Mar. 2002]. SAS Inst., Cary, NC.
- Taba, S. (1995). Maize germplasm: its spread, use and strategies for conservations. *In*: S. Taba, ed. Maize genetic resources, p. 7-58 México, D.F., CIMMYT.
- Taba, S., J. Díaz, J. Franco, and J. Crossa. (1998). Evaluation of Caribbean maize accessions to develop a core subset. *Crop Sci.* 38(5): 1378-1386.
- Taba, S., J. Díaz, J. Franco, J. Crossa, and S.A. Eberhart. (1999). A core subset of LAMP, from the Latin American Maize Project. CD-ROM. CIMMYT, Mexico DF, Mexico.
- Tanksley, S.D. (1983). Molecular markers in plant breeding. *Plant Molecular Biology Reporter* 1, 1-3.
- Wallhausen, E.J., A. Fuentes-O., and A. Hernandez-C. (1957). Races of Maize in Central America. *Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council Public.* 551. Washington DC.
- Wallhausen, E.J. (1965). Exotic germplasm for improvement of corn belt maize. In: 20th Report of Hybrid Corn Industry-Research Conference. Chicago, IL, 8-9 Dec 1965 (Sutherland, J.I. ed) Amer. Seed Trade Ass. Washington, DC. Pp 31-45.
- Ward, J.H., Jr. (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 58:236-244.
- Wishart, D. (1987). CLUSTAN user manual. 3rd ed. Program Library Unit, Univ. of Edinburgh, Edinburgh.
- Literatura citada no revisada
- Cochran, W.G. (1954). Some Methods for Strengthening the Common X^2 Test. *Biometrics.* 10, 417-451.
- Eckart, C. and G. Young. (1936). The Approximation of One Matrix by Another of Lower Rank. *Psychometrika.* 1, 211-218.
- Fisher, R.A. (1936). "The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems," *Annals of Eugenics,* 7, 179-188.
- Fisher, R. (1938). *Statistical Methods for Research Workers.* 10th Edition. Edinburgh: Oliver and Boyd Press.
- Fisher, R.A. (1940). "The Precision of Discriminant Functions," *Annals of Eugenics,* 10, 422-429.
- Goodman, L.A., and Krustal, W.H. (1954). Measures of Association for Cross-Classification I, II, III, and IV. *Journal of the American Statistical Association.* 49, 732-764.
- Guttman, L. (1941). The Quantification of a Class a Attributes: A Theory and Method of Scale Construction," in *The Prediction of Personal Adjustment,* eds. P. Horst, et al., New York: Social Science Research Council.
- Hayashi, C. (1950). On the Quantification of Qualitative Data from the Mathematico-Statistical Point of View, *Annals of the Institute of Statistical Mathematics,* 2, (No.1), 35-47.
- Hirshfield, H.O. (1935). A Connection Between Correlation and Contingency. *Cambridge Philosophical Society Proceedings,* 31, 520-524.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components. *Journal of Educational Psychology.* 24, 417-441, 498-520.
- Pearson, K. (1901). On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of points in Space. *Philosophical Magazine.* 6(2), 559-572.

- Rao, C.R. (1955). Estimation and Tests of Significance in Factor Analysis. *Psychometrika*, 20, 93-111.
- Rosenblatt, M. (1956). Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function. *Annals of Mathematical Statistics*, 27, 832-837.
- Siegel, S. (1956). Nonparametric Statistics. N.Y.: Mac Graw Hill Book Co.
- Sorensen, T. (1948). "A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of Species Content and Its Application to Analysis of the Vegetation on Danish Commons," *Biologiske Skrifter*, 5, 1-34.
- Spearman, C. (1904). General Intelligence Objectively Determined and Measured. *American Journal of Psychology*, 15, 201-293.

Fuente original de la Base de datos LAMP (1985B-1992)

CA: Latin American Maize Project. Germplasm Resources Information Network.
 TI: Datos del Proyecto Latino-Americano de Maiz: Data of the Latin American Maize Project.
 SO: Beltsville, Md. : GRIN Database Management Unit, USDA-ARS-PSI-NGRL, [1992] 1 computer laser optical disc
 CN: DNAL aSB191.M2D37--1992
 DE: Latin-American-Maize-Project-Databases. Corn-Databases

Acrónimos

ARS / GEM: American Resources Service / Germplasm Enhancement for Maize

CIMMYT: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

CORPOICA: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

CP: Componentes Principales

GRMC: Grupo Racial de Maíces Colombianos

FAO: Food and Agriculture Organisation

LAMP: Latin American Maize Project

SNB-ICA/MAGDR: Sistema Nacional de Bancos-Instituto Colombiano Agropecuario / Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de Colombia

USDA-ARS/GEM: The United States Department of Agriculture –ARS/GEM

PNRGBV: Programa Nacional de Recursos Genéticos y Biotecnología Vegetal-C.I. Tibaitatá-CORPOICA

PRINCOMP.SASV8e PRINcipal COMPonents Análisis. Statistical Analysis System Version 8e

PRINQUAL.SASV8e PRINcipal components of QUALitative data.