

RELACIONES FENÉTICAS ENTRE RAZAS DE MAÍZ (*ZEAMAYS* SPP. *MAYS*) NATIVAS DE LA PROVINCIA DE JUJUY (ARGENTINA)

PEDRO MELCHIORRE^{1,3}, NORBERTO BARTOLONI² y JULIÁN A. CÁMARA HERNÁNDEZ¹

Summary: Phenetic relationships among natives races of maize (*Zea mays* ssp. *mays*) from Jujuy (Argentina). The relationships of similarity existing among fifteen maize racial populations of native maize from the province of Jujuy (Argentina) were studied by univariate (ANOVA) and multivariate statistical methods (Discriminant Canonical Analysis, Cluster Analysis and Prim nets) on the basis of 22 quantitative traits (morphological, reproductive and phenological). The ANOVA detected highly significant differences among landraces for almost every variable. The first two canonical variates (cv) explain 75% of the overall variation. The discriminant traits associated to the first and second cv are related to ear and kernel dimensions (row number of kernel per ear and kernel width) and mainly to vegetative cycle length. These results along with the cluster analysis allowed the identification of racial groups, which are described. It also confirmed the existence of high variability in these races and from the minimum distance between OTUs a hypothetical evolutionary tree of these set of races was built. The results are discussed from the taxonomic and evolutionary point of view and in terms of their potential use in the selection of genetic material for maize breeding programs.

Key words: evolution, germplasm of maize (*Zea mays* ssp. *mays*), maize landraces, maize breeding, numerical taxonomy.

Resumen: Se estudiaron las relaciones de similitud entre 15 razas de maíz nativas de la provincia de Jujuy (Argentina), mediante métodos estadísticos univariados (ANOVA) y multivariados (Análisis Discriminante Canónico, Análisis de Agrupamiento y Red de Prim), aplicados a 22 caracteres cuantitativos (morfológicos, reproductivos y fenológicos). El ANOVA detectó diferencias estadísticamente significativas entre razas para casi todas las variables. Las dos primeras variables canónicas (vc) explican el 75 % de la variación total. Los caracteres discriminantes asociados a la primera y segunda vc están relacionados con las dimensiones de la espiga y de los granos (número de hilera de granos por espiga y espesor de los granos) y principalmente a la longitud del ciclo vegetativo. Estos resultados y el análisis de agrupamiento han permitido la identificación de grupos raciales, los cuáles son descritos. Asimismo se confirmó la existencia de una elevada variabilidad en estas razas, y a partir de las distancias mínimas entre OTUs se construyó un "árbol evolutivo" hipotético del conjunto de razas. Los resultados se discuten desde el punto de vista taxonómico y evolutivo y en cuanto a su uso potencial en la selección de material genético para programas de mejoramiento del maíz.

Palabras clave: evolución, germoplasma de maíz (*Zea mays* ssp. *mays*), razas de maíz; mejoramiento de maíz, taxonomía numérica.

INTRODUCCIÓN

Las provincias del noroeste de Argentina (Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, Tucumán y Santiago del Estero) integran el centro peruano-boliviano

de variabilidad del maíz, siendo Jujuy una de las provincias más importantes de la región, por la gran diversidad ecológica y de las formas de maíz que allí se cultivan desde épocas precolombinas (Girola, 1919; Cutler, 1946; Parodi 1947, 1966; Alleoni, 1957; Brieger *et al.*, 1958; Luna *et al.*, 1964; Torregrosa *et al.*, 1980; Catálogo INTA, 1997). Alleoni (1957) describe y agrupa a las razas de la quebrada de Humahuaca en (a) razas antiguas básicas como aquellas para las cuales no era posible establecer un origen híbrido (*Capias*, *Amarillo de*

¹ Cátedra de Botánica Sistemática,

² Cátedra de Métodos Cuantitativos Aplicados. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Avda. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires, Argentina.

³ melchior@mail.agro.uba.ar

Ocho y Pisincho), (b) razas tipo del altiplano, (c) razas especiales o aisladas (*Chulpi, Culli, Oke, Marron*) y (d) razas sintéticas antiguas (razas de las que se supone que se originaron por medio de hibridaciones y posterior selección (*Morocho, Bola Blanca y Achilli*). Asimismo, Brieger *et al.* (1958), describen las razas de la quebrada de Humahuaca y determinan 3 grupos principales:

(a) grupo del Valle, representado por *Capia Blanco, Capia Amarillo* y las subrazas *Achilli* y *Chulpi*, (b) *Pisincho* y (c) grupo altiplano representado por Altiplano. Las razas restantes (*Morocho, Marron, Oke, Culli, Amarillo de Ocho*) comparten caracteres de los grupos (a) y (c).

Estudios posteriores, morfológicos y citológicos (nudos cromosómicos) realizados sobre materiales procedentes de distintas localidades de la provincia de Jujuy, permitieron corroborar que las razas que se cultivan en la Quebrada de Humahuaca están relacionadas con las razas de Bolivia y del Perú y con las de otras provincias del noroeste argentino (Abusso & Cámara Hernández, 1974). Asimismo, a partir de sucesivas colecciones de maíz realizadas en las provincias citadas, del norte de la Argentina, se efectuaron estudios morfológicos, sistemáticos y de los usos locales (Cámara Hernández & Miente Alzogaray, 1979, 1981, 2003, 2016; Miente Alzogaray *et al.*, 1996; Cámara Hernández & Arancibia de Cabezas, 2007). Estos estudios, han permitido describir y clasificar, sobre la base de caracteres morfológicos vegetativos y de las inflorescencias masculinas y femeninas, las diferentes razas cultivadas en la región (Cámara Hernández *et al.*, 2012). Los estudios genéticos de los maíces autóctonos del norte de la Argentina realizados por Horovitz (1935), indican que las formas cultivadas en los altos valles andinos del noroeste presentan características propias y definidas que las diferencian de aquellas cultivadas en la región del noreste de la Argentina.

Resultados de estudios sobre caracterización genética, a nivel molecular, mediante marcadores microsatélites (Lia, 2004), a partir de muestras de maíces pertenecientes a las razas del NOA, permitieron confirmar la pertenencia de las razas: *Altiplano, Amarillo Grande, Amarillo Chico y Blanco*, al grupo de maíces del Complejo Andino; la raza *Pisingallo*, al grupo de Maíces Reventadores de ápices agudos o puntiagudos y la raza *Orgullo Cuarentón* al grupo de Razas Incipientes.

Asimismo, estudios sobre caracterización de la diversidad genética (Rivas, 2015) sobre muestras de maíces nativos del Noroeste de Argentina mediante descriptores morfométricos y marcadores moleculares revelaron la existencia de dos grupos genéticos principales asociados a la altitud del cultivo: grupo del bajo, constituido por maíces cultivados hasta los 1990 msnm y grupo del alto, constituido por maíces cultivados por encima de los 2000 msnm. El cultivo del maíz en la región se realiza desde muchos siglos antes de la conquista del Río de la Plata (Parodi, 1935) y aún en el presente constituye uno de los recursos alimenticios principales a nivel familiar. Los restos arqueológicos de maíz y la variabilidad de los mismos, hallados en diferentes sitios del noroeste argentino, ponen en evidencia la antigüedad del cultivo (Miente Alzogaray & Cámara Hernández, 1996).

En el mundo se clasificaron más de 300 razas (Reyes Castañeda, 1990), de las cuales 260 razas fueron descritas para América y de éstas, 132 razas son originarias de la zona andina. En el Norte de Argentina se han descrito 56 formas raciales, 34 de las cuales son características de la región del noroeste y 15 razas (de las 34) pertenecen a la provincia de Jujuy (Cámara Hernández *et al.*, 2012).

Estos trabajos sobre clasificación y descripción, constituyen una etapa previa, en un plan de conservación de germoplasma, importante para la evaluación fenotípica y genética del material coleccionado, con el propósito de obtener información más detallada sobre la variabilidad presente y potencialmente útil para el mejoramiento de la especie. Asimismo, la evaluación fenotípica de una colección de germoplasma es indispensable en una primera etapa del conocimiento de la variabilidad presente.

La importancia de conservar y evaluar la diversidad de las poblaciones locales de maíces radica en que se encuentran bien adaptadas al área geográfica de origen (con clima y suelos definidos) y a las necesidades y costumbres de los agricultores aborígenes. Asimismo, constituyen una fuente de germoplasma importante para su empleo en el mejoramiento genético de esta especie, dado que durante el proceso evolutivo se retienen genes o combinaciones de genes, para el incremento del rendimiento y/o genes de resistencia a la aparición

de razas de patógenos o plagas. Estos genes pueden, eventualmente, ser transferidos a las variedades o híbridos comerciales, los que, si bien son más productivos, poseen una base genética restringida, que los hace también más vulnerables a los cambios que se producen en el medio ambiente.

Estudios sobre tamaño del genoma y polimorfismos para los cromosomas B (Rosato *et al.*, 1998), quimiometría (Robutti *et al.*, 2000), androesterilidad (Frayssinet *et al.*, 2001), premejoramiento de poblaciones locales de maíz (Hourquescos *et al.*, 2003), incorporación de germoplasma indígena de maíz en materiales "Elite" (Eyherabide, 2004), caracterización y descripción genética molecular del germoplasma autóctono (Lía, 2004, Lía *et al.*, 2009), confirman la amplia variabilidad genética existente en las razas nativas de Argentina y la importancia que tiene la preservación y utilización de las mismas como fuente de germoplasma.

La evaluación fenotípica y/o genética de las poblaciones locales, mediante métodos estadísticos multivariados, basados en caracteres morfológicos cuantitativos de la parte vegetativa de la planta, de la espiga y del ciclo vegetativo, permiten obtener una descripción sintética de la variabilidad total y definir en qué medida contribuye cada carácter a explicar las diferencias existentes entre poblaciones. Por otro lado, los caracteres cuantitativos utilizados en el presente trabajo para la descripción y clasificación de los grupos (a diferencia de algunos caracteres de uso tradicional en la clasificación en razas, como la forma de la espiga, el color y la textura de los granos) están más directamente vinculados con la adaptación a las condiciones agroclimáticas y son los más adecuados para determinar los grados de afinidad entre poblaciones raciales. Asimismo, la determinación de la semejanza fenética constituye la base para suponer la presencia de afinidad o relación interracial (Bell, 1968).

Existen numerosos trabajos sobre aplicación de métodos de taxonomía numérica, en particular sobre afinidades interraciales de maíz, entre los que pueden citarse los de Goodman & Bird (1977), Camussi (1979), Camussi *et al.* (1983), Melchiorre (1992), Llauradó & Moreno Gonzales (1993), Alfaro & Segovia (2000), Melchiorre & Bartoloni (2004), Melchiorre *et al.* (2006). Sin embargo, aún, no han sido publicados estudios de taxonomía numérica sobre las poblaciones raciales de maíz de

Jujuy, descritas por Abiusso & Cámara Hernández (1974) y por Cámara Hernández *et al.* (2012).

Las razas, por lo general, reaccionan en forma diferencial frente a cambios en el ambiente. Cuando existen grandes diferencias de ambientes (por ejemplo, hábitats diferentes como Jujuy, Buenos Aires y Catamarca) la interacción genotipo-ambiente puede ser muy importante en relación a la adaptación de las poblaciones raciales a las condiciones locales (Falconer & Mackay, 1996). Asimismo, la variación de los caracteres cuantitativos se debe a la acción conjunta del genotipo y del ambiente, siendo la expresión fenotípica de un carácter determinado, el resultado de la media general de la población, el efecto de los factores del genotipo y del ambiente y la interacción entre ambos.

La determinación de las distancias mínimas entre las poblaciones raciales, permitirá conocer mejor las interrelaciones, mediante la construcción de un "árbol evolutivo hipotético" o "red de Prim" (Crisci & López Armengol, 1983).

Por las razones expuestas, los objetivos propuestos en este trabajo son: (a) determinar las similitudes fenéticas y reagrupar las poblaciones raciales afines sobre la base de múltiples caracteres cuantitativos; (b) definir en qué medida contribuye cada carácter a explicar las diferencias entre las poblaciones; (c) realizar una descripción sintética de la variabilidad total; (d) trazar un árbol evolutivo hipotético de las formas raciales consideradas; (e) estimar la interacción genotipo-ambiente (a partir de los datos obtenidos en los cultivos realizados en Buenos Aires, Jujuy y Catamarca) para los caracteres morfológicos vegetativos y fenológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material empleado comprende 15 muestras de 36 granos cada una, extraídas de una o más espigas representativas de cada una de las razas de maíz, procedentes de distintas localidades de la provincia de Jujuy y algunas otras de la provincia de Salta (Tabla 1 y Fig. 1). En particular las muestras de las razas *Capia Blanco*, *Pisingallo* y *Azul*, procedentes de la provincia de Salta fueron incluidas en este trabajo por ser el área de su cultivo comunes a ambas provincias (Jujuy y Salta) y principalmente por la carencia de muestras procedentes de Jujuy,

Tabla 1. Formas raciales de maíz nativas de las provincias de Jujuy y Salta. Número de colección, localidades de procedencia de las muestras, altitud de cultivo y longitud del ciclo vegetativo (LCV).

Nombres locales y Símbolos	Número de Colección	Localidad de Origen	Depto.	Altitud (msnm)	LCV (días)
Amarillo grande (AG1)	VAV 6644	Bárcena	Tumbaya	2020	84
Amarillo Chico (ACH2)	VAV 6643	Bárcena	Tumbaya	2020	85
Capia Púrpura (CP3)	VAV 6659	Calete	Humahuaca	2936	89
Capia Rosado (CR4)	VAV 6660	Patacal (x)	Tumbaya	2192	88
Garrapata (GA5)	VAV 6626	Jueya	Tilcara	2785	99
Culli (CU6)	VAV 6624	Jueya	Tilcara	2785	87
Marrón (MA7)	VAV 6665	Jueya	Tilcara	2785	88
Harinoso (Ha8)	VAV 6657	Coctaca	Humahuaca	3209	87
Chullpi (Chu9)	VAV 6664	Jueya	Tilcara	2785	108
Ocho Rayas (OR10)	VAV 6641	Bárcena	Tumbaya	2020	89
Bolita (BO11)	VAV 6655	Jueya	Tilcara	2785	82
Morocho (MO12)	VAV 6628	Jueya	Tilcara	2785	89
Capia Blanco (CB13)	VAV 6506	Apachal	Orán (Salta)	336	89
Capia Blanco (CB13)	VAV 6670	Tilcara (xx)			89
Azul (AZ14)	VAV 6509	Río Blanquito	Orán (Salta)	326	83
Pisingallo (PI15)	VAV 6615	Sta. Victoria Oeste	Sta. Victoria (Salta)	2497	82

LCV: Longitud del Ciclo Vegetativo: desde siembra a la antesis de flores masculinas.

(x) Patacal : paraje de Punmamarca.

(XX) mercado de Tilcara.

correspondientes a esas razas, en el momento de realizar este ensayo. Además, fueron incluidas dos muestras como testigo (*Blanco Boliviano* y *Amarillo dentado*) correspondientes a variedades del INTA-Hornillos. La elección de las muestras fue realizada sobre la base de resultados de clasificación de las razas de maíz de Jujuy (Abiusso & Cámara Hernández, 1974). El cultivo experimental (Fig. 1) se llevó a cabo, con riego artificial, en el Centro Experimental del INTA - Posta de Hornillos (Maimará), Depto. Tilcara (Provincia de Jujuy), ubicado a una longitud oeste de 65° 24', una latitud sur de 23° 37' y a una altitud 2.334 msnm, con precipitaciones medias anuales de 121 mm (con valores de 21 mm en diciembre, 37 mm en enero, 32 mm en febrero y 16 mm en marzo) y con una *temperatura media anual* entre 18 y 20° C.

La siembra en el INTA-Posta de Hornillos se realizó el 11 de diciembre del 2010, en forma manual y mediante un "marcador" de profundidad y de distancia entre plantas, según un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. En cada parcela (de 12 m²) se sembraron 36 granos (3 surcos distanciados unos 70 cm, con 12 granos/surco a una distancia de 33,33 cm entre plantas y a la profundidad de 5 cm). Asimismo, con las plántulas obtenidas de la prueba de germinación, previa a la siembra en Jujuy, se realizó un cultivo en Buenos Aires. El transplante se realizó el día 1° de diciembre del 2010, en el Jardín Botánico de la Cátedra de Botánica de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), ubicado a 34° 35' de latitud sur; 58° 29' de longitud oeste, y con una altitud 25 msnm. La temperatura media

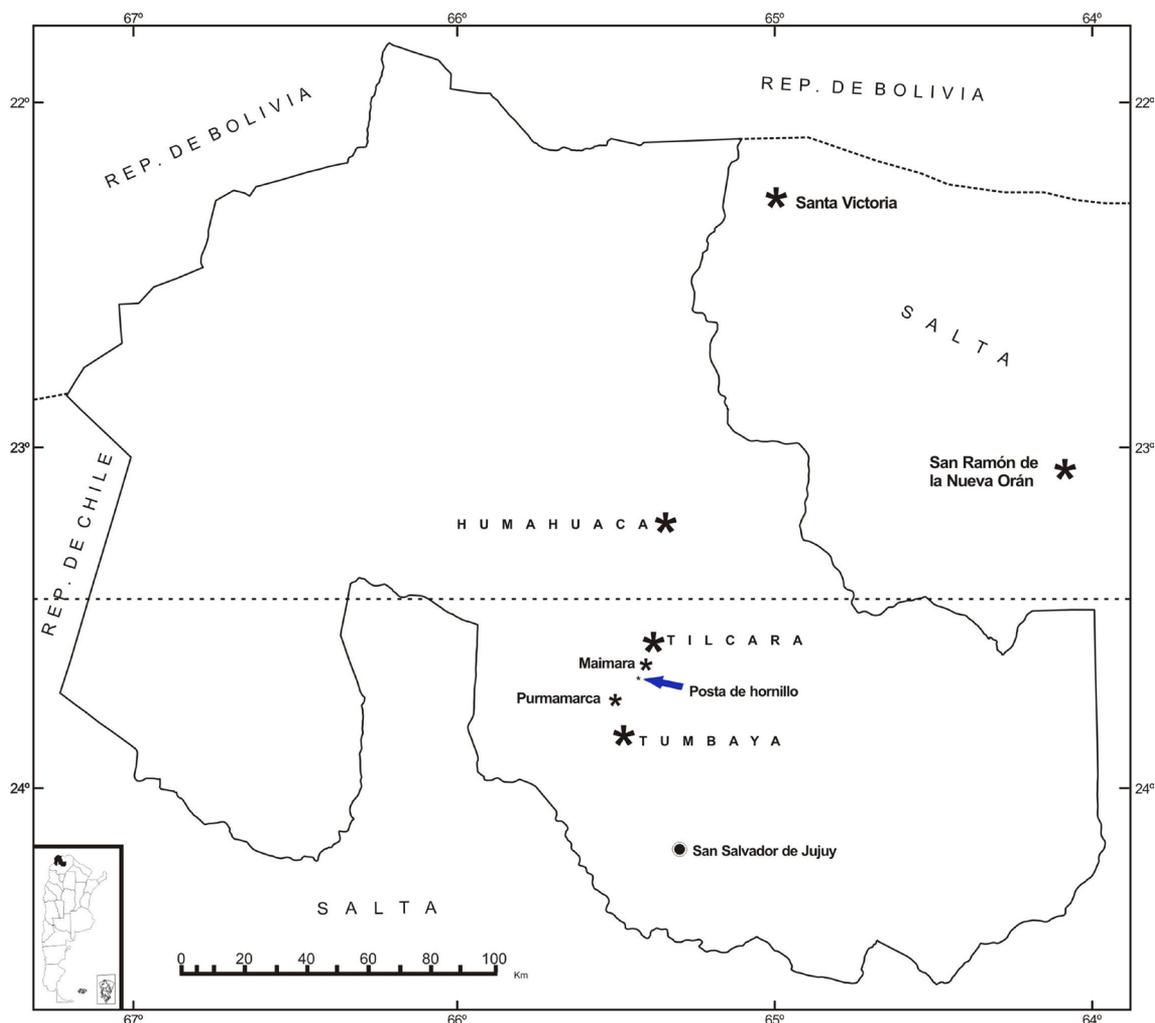


Fig. 1. Mapa de la Provincias de Jujuy y Salta con los departamentos, localidades de procedencia de las muestras y sitio del cultivo experimental.

anual de $16,9^{\circ}\text{C}$ y la precipitación media anual de 1027,3 mm. En este cultivo se aplicó también riego artificial con una frecuencia diaria y se efectuó el relevamiento de los mismos caracteres morfológicos vegetativos y fenológicos registrados en el cultivo experimental de Hornillos pero, sobre un número menor de plantas (4 - 5 plantas, para cada una de las razas). Con anterioridad a los cultivos en Jujuy y Buenos Aires se había realizado un cultivo similar en Catamarca con muestras pertenecientes a las mismas razas. La siembra en Catamarca se efectuó el 24 de noviembre de 1988. La parcela experimental estaba ubicada en la Escuela Agrotécnica Nueva Coneta

del Dpto. Capayán, ubicado a $28^{\circ} 32'$ de latitud sur; $65^{\circ} 49'$ de longitud oeste, y con una altitud 511 msnm. La temperatura media anual de $20,4^{\circ}\text{C}$ y la precipitación media anual de 372 mm. Por circunstancias adversas en la época de cosecha del material, en Catamarca no pudieron obtenerse las espigas correspondientes y necesarias para completar el trabajo.

Para el relevamiento posterior de los datos, en los tres sitios de cultivo y en los estadios de 3, 6 y 12 hojas expandidas, se procedió a señalar las plantas competitivas, para el registro de los siguientes caracteres: morfológicos vegetativos, fenológicos y

reproductivos, estimados en trabajos anteriores por Camussi (1979), Camussi *et al.* (1983) y Melchiorre (1992).

Caracteres Morfológicos Vegetativos: número de macollos (NM), altura hasta la inserción de la espiga distal (AES) (cm), número de hojas a la espiga distal (NHES), altura total de la planta (AT) (cm) y número total de hojas/planta (HT);

Caracteres Fenológicos: floración masculina (FM) y floración femenina (FF) (en días desde la siembra);

Caracteres Reproductivos: número de espigas por planta (NE), peso de la espiga distal (PE) (g), peso total de espigas/planta (PET) (g), número de hileras de granos/espiga (NHI), número de cariopses por hilera (CHI), longitud de la espiga (LE) (cm), diámetro de la espiga en el ápice (DEA) (mm), diámetro de la espiga en la base (DEB) (mm), diámetro de la espiga en el punto medio (DME) (mm), peso medio de 50 cariopses (P50C) (g), longitud media de 10 cariopses (LC) (mm), ancho promedio de 10 cariopses (AC) (mm), espesor promedio de 10 cariopses (EC) (mm);

Caracteres derivados: índice 1: DME/LE; índice 2: EC/LC; índice 3: LC/LE. Longitud del ciclo vegetativo (LCV) determinado como el número de días transcurridos desde la siembra hasta la floración masculina y Protandria (P) = (FF - FM).

El registro de los datos, a campo, en Jujuy y en Catamarca, se realizó, sobre 10-12 plantas individuales, previamente señaladas, en la parte central de cada parcela. Las espigas (más representativas) y las muestras de granos utilizadas para las mediciones, en laboratorio, son conservadas en el Laboratorio de Recursos Genéticos *N. I. Vavilov* de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Para el análisis de los datos se incluyeron únicamente aquellas plantas de las que se disponían datos completos. En el análisis se consideraron también, con fines comparativos, datos de campo obtenidos del cultivo experimental, realizado en la provincia de Catamarca. En particular, se compararon los datos disponibles sobre floración y de algunos de los caracteres morfológicos vegetativos.

Métodos estadísticos

Con el conjunto de datos obtenidos sobre plantas individuales, se confeccionó una matriz básica de datos (MBD), compuesta de 504 filas (nº de plantas) × 22 columnas (caracteres). Esta matriz fue analizada

mediante las técnicas estadísticas univariadas (ANOVA) y multivariadas: análisis discriminante canónico (ADC), análisis de agrupamiento (AG) y red de Prim (RP). Para cada carácter se estimó el coeficiente de variación (CV). Ello permitió hacer comparaciones de los caracteres (aunque tuvieran diferentes unidades de medida) y tener una idea del grado de representatividad de las medias aritméticas.

Los métodos multivariados de análisis de datos permiten, en general, sintetizar y simplificar la información contenida en una tabla de datos, operando una reducción de la dimensionalidad del problema, para hacerla más rápidamente accesible (Morineau, 1992). En particular, mediante el ADC, las variables originales son transformadas en variables canónicas (vc), que son combinaciones lineales de las variables originales y son ortogonales y estandarizadas. Las vc permiten maximizar las diferencias entre poblaciones en relación a las diferencias dentro de las mismas, al considerar a cada individuo como la unidad experimental. Asimismo, las vc son utilizadas para obtener las distancias fenotípicas y/o genéticas (Camussi 1979; Camussi *et al.*, 1983).

Para la estimación de las distancias se empleó el coeficiente de distancia euclidiana. El reagrupamiento de las poblaciones se realizó por medio del método UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Average*) que es una técnica del ligamiento promedio, la cual origina menor distorsión (Sneath & Sokal, 1973).

No fueron incluidas en la matriz básica de datos las variables referidas al número de macollos por planta, debido a que las observaciones se realizaron sobre el total de plantas de cada parcela y a la protandria (FF-FM) por considerarla redundante.

La descripción de los grupos resultantes fue realizada sobre la base de categorías establecidas a partir de los valores promedios (Tabla 2), para los principales caracteres, de los tres bloques, correspondiente a la siembra en el INTA-Posta de Hornillos (Jujuy). Los clusters o grupos fueron obtenidos con los programas del NTSYS (Rohlf, 1993). El árbol de la mínima distancia (Minimum Spanning Tree), se obtuvo a partir de la matriz de similitud de distancia entre pares de OTUs (unidades taxonómicas operativas), y los resultados son las mínimas distancias fenéticas encontradas entre ellas (Sneath & Sokal, 1973; Crisci & López Armengol, 1983). La estimación de las distancias mínimas fue realizada por medio del programa "MST".

Tabla 2. Medias de las variables originales correspondientes a las 15 formas raciales y dos variedades comerciales (TEST1 y TEST2) utilizadas como testigos.

GENOTIPOS	CARACTERES																						
	AES (cm)	NHE (cm)	AT (cm)	HT (cm)	FM (días)	FF (días)	P	NE	PE (g)	PET (g)	NHI	CHI	LE (cm)	DEA (mm)	DEB (mm)	DME (mm)	P50C (g)	LC (mm)	AC (mm)	EC (mm)	IN1: EC/LC	IN2: DME/LE	IN3: LC/LE
AG1	88.71	12.56	148.06	17.29	5.06	6.41	1.35	1.82	72.75	107.51	7.76	26.82	138.29	23.64	38.11	34.00	16.42	94.68	106.38	42.75	0.46	0.25	0.70
ACH2	59.97	11.56	112.09	15.65	5.44	6.18	0.74	1.29	49.17	56.08	6.88	23.12	117.76	25.29	36.11	32.93	12.90	89.29	97.56	43.51	0.49	0.28	0.77
CP3	82.72	12.34	144.03	17.41	9.48	10.28	0.79	1.34	101.70	119.53	10.62	27.10	126.24	27.60	44.40	41.83	15.58	123.41	98.86	40.99	0.33	0.34	1.01
CR4	78.51	12.37	132.11	17.71	9.17	10.94	1.77	1.31	84.11	101.69	11.49	20.43	105.14	32.00	49.34	46.71	15.78	124.11	95.17	41.57	0.34	0.46	1.21
GA5	66.00	12.50	110.04	16.77	19.77	23.92	4.15	1.35	41.35	50.28	10.46	19.77	88.92	25.98	40.42	36.20	8.91	103.46	79.38	37.80	0.37	0.42	1.21
CU6	67.77	12.11	126.86	16.40	8.34	11.09	2.74	1.57	53.15	73.26	12.06	26.51	107.20	26.05	37.82	35.29	10.44	96.23	76.97	44.90	0.47	0.34	0.93
MA7	82.03	12.56	138.62	17.82	8.47	8.59	0.12	1.50	62.07	83.64	9.06	23.91	107.70	23.39	35.39	32.67	14.04	108.97	93.79	36.48	0.34	0.31	1.03
HA8	68.27	11.67	127.21	16.33	7.45	6.64	0.82	1.73	77.30	120.47	9.33	23.67	110.03	25.99	41.97	38.40	15.75	109.61	100.73	42.83	0.40	0.36	1.02
CHU9	122.42	14.92	177.50	19.65	28.77	33.38	4.62	1.46	30.51	40.25	18.31	22.65	89.69	27.26	41.34	39.97	3.64	92.12	59.04	30.80	0.34	0.46	1.07
OR10	82.86	13.26	141.57	18.23	9.86	9.69	0.17	1.31	72.25	84.77	7.77	25.23	132.83	27.15	39.27	36.38	16.46	99.23	108.29	46.10	0.47	0.28	0.76
BO11	63.25	10.97	126.67	15.44	2.58	2.86	0.28	1.50	83.84	109.79	8.94	27.42	126.19	27.26	39.65	36.24	15.46	102.75	96.89	42.15	0.41	0.29	0.83
MO12	59.23	11.60	129.63	16.91	4.34	5.11	0.77	1.69	78.67	115.78	14.00	24.83	119.29	27.31	41.09	38.72	10.57	93.26	73.97	40.63	0.44	0.33	0.79
CB13	88.28	12.28	149.03	17.41	9.97	11.55	1.59	1.31	86.52	105.51	12.21	24.14	116.07	29.86	44.91	42.73	15.00	123.97	94.59	39.24	0.32	0.38	1.10
AZ14	52.34	11.38	110.13	15.69	4.34	5.97	1.63	1.44	62.55	78.53	11.63	22.38	110.13	26.09	38.39	34.37	11.78	95.38	81.59	45.48	0.48	0.32	0.89
PI15	54.19	12.66	98.31	16.88	3.19	3.13	0.06	1.81	70.42	104.70	20.69	21.66	91.69	32.78	43.00	41.32	7.37	94.00	53.44	39.69	0.42	0.46	1.04
TEST2	40.00	9.86	91.29	14.00	7.14	9.86	2.71	1.00	51.86	51.86	9.43	20.43	96.43	27.64	38.11	36.01	13.53	101.14	95.00	37.90	0.38	0.39	1.10
TEST1	82.42	11.42	161.08	16.58	2.67	6.58	3.92	1.67	82.69	119.21	8.00	26.50	122.83	27.77	43.36	39.65	18.14	113.75	108.50	43.25	0.39	0.33	0.95

Caracteres

AES (cm): altura hasta la inserción de la espiga distal, NHES: número de hojas a la espiga distal; AT (cm): altura total de la planta, HT: número total de hojas/planta; FM (días): floración masculina, FF (días): floración femenina, P: Protandria (FF-FM), P: protandria = FF - FM; NE: número de espigas por planta, PE: peso de la espiga distal (g), PET: peso total de espigas/planta (g); NHI: número de hileras de granos/espiga, CHI: número de cariopses por hilera, LE: longitud de la espiga (cm).

Genotipos

AG1: *Amarillo Grande*, ACH2: *Amarillo Chico*, CP3: *Capia Púrpura*, CR4: *Capia Rosado*, GA5: *Garrapata*, CU6: *Cullí*, MA7: *Marrón*, HA8: *Harinoso*, CHU9: *Chullpi*, OR10: *Ocho Rayas*, BO11: *Bolifa*, MO12: *Morocho*, CB13: *Capia Blanco*, AZ14: *Azul*, PI15: *Pisingallo*; Testigos: TEST1: *Blanco Boliviano*, TEST2: *Amarillo Dentado*.

RESULTADOS

La longitud del ciclo vegetativo (LCV), correspondiente a cada raza, determinada sobre la base del número de días desde la siembra hasta la floración masculina (Tabla 1), pone en evidencia que las razas PI y BO son relativamente las más precoces, CHU y GA las más tardías y las restantes de ciclo intermedio.

El ANOVA, realizado a partir de los datos obtenidos del cultivo realizado en Jujuy, mostró diferencias estadísticamente significativas entre promedios de razas para todas las variables, excepto para el DEB y HT (Tabla 3). El ANOVA realizado a partir de los datos obtenidos de los cultivos de Buenos Aires, de la Posta de Hornillos y de Nueva Coneta, mostró también diferencias altamente significativas entre las medias de las variables

Tabla 3. Resumen del análisis de varianza y coeficientes de variación de cada uno de los caracteres considerados.

Variable	CM _{R(*)}	CM _{EE(**)}	F _{16;487}	Valor p	CV(%)
AES (cm)	8814.00	338.00	26.04	0.000	33.59
NHES	50.35	17.05	2.95	0.000	11.89
AT (cm)	11364.00	523.00	21.72	0.000	22.47
HT	32.40	16.90	1.92	0.017	10.82
FM (días)	1165.00	9.70	120.13	0.000	80.98
FF (días)	1598.87	16.25	98.39	0.000	84.06
NE	1.14	0.31	3.71	0.000	38.58
PE (g)	9382.00	619.00	15.17	0.000	43.32
PET (g)	18925.00	1768.00	10.70	0.000	52.69
NHI	412.55	3.78	109.12	0.000	36.69
CHI	167.50	50.00	3.35	0.000	23.40
LE (cm)	6308.00	352.00	17.91	0.000	20.55
DEA (mm)	202.50	21.80	9.29	0.000	19.31
DEB (mm)	604.10	372.20	1.62	0.059	15.36
DME (mm)	474.50	25.40	18.67	0.000	16.68
P50C (g)	401.99	9.56	42.04	0.000	36.11
LC (mm)	4133.00	107.00	38.53	0.000	14.83
AC (mm)	7760.00	71.00	109.36	0.000	19.97
EC (mm)	405.40	40.50	10.01	0.000	17.50
IN1:DME/LE	0.13	0.00	28.96	0.000	26.94
IN2:EC/LC	0.11	0.01	18.53	0.000	23.48
IN3:LC/LE	8814.00	338.00	26.04	0.000	33.59

(*) Cuadrado medio entre razas; (**) Cuadrado medio error experimental

AES (cm): altura hasta la inserción de la espiga distal, NHES: número de hojas a la espiga distal, AT (cm): altura total de la planta, HT: número total de hojas/planta, FM (días): floración masculina, FF (días): floración femenina, NE: número de espigas por planta, PE (g): peso de la espiga distal, PET (g): peso total de espigas/planta, NHI: número de hileras de granos/espiga, CHI: número de cariopses por hilera, LE (cm): longitud de la espiga, DEA (mm): diámetro de la espiga en el ápice, DEB (mm): diámetro de la espiga en la base, DME (mm): diámetro de la espiga en el punto medio, P50C (g): peso de 50 cariopses, LC (mm): longitud de 10 cariopses, AC (mm): ancho de 10 cariopses, EC (mm): espesor de 10 cariopses; IN1: índice 1: DME/LE, IN2: índice 2: EC/LC, índice 3: LC/LE, CV: coeficiente de variación.

morfológicas vegetativas (AES, NHES, AT, HT) y la LCV, entre razas y entre sitios de cultivo. En particular en el cultivo realizado en Buenos Aires se registraron importantes incrementos en los caracteres de altura (AES, AT), número de hojas (NHE, HT)] y en la LCV, en casi todas las razas (Tabla 4).

Los valores de los coeficientes de variación (CV (%)) hallados (Tabla 3) son diferentes para cada carácter. Los valores más bajos corresponden a los caracteres dimensionales de la espiga (LE, DEA, DEB, DME), de los granos (LC, AC, EC) y al número de hojas (NHES, HT); valores medios bajos se obtuvieron en CHI, AT y en los índices (1, 2, 3); valores medios altos se observaron en los caracteres de AES y P50C, NHI y en el NE; los valores altos de CV (%) se registraron en los caracteres PE, PET y valores muy altos para el número de días transcurridos desde la siembra al inicio de floración (FM y/o FF).

En general, en los maíces de clima cálido, el tallo no manifiesta casi macollos y en los de clima frío el número de macollos es variable. En las razas AG, maíces *capias* (CB, CR y CP), GA, CHU, CU, MO y BO, en el cultivo experimental de Hornillos, se registraron 1,2 y 3 macollos/planta mientras que en las razas restantes no se observaron macollos.

El Análisis discriminante canónico (ADC) (Tabla 5) indica que las cuatro primeras variables canónicas (vc) resumen el 89 % de la variación total y que las dos primeras vc, representan el 75 %. Asimismo, en la Tabla 5 se muestra la contribución de los caracteres a las cuatro primeras vc. La magnitud de los coeficientes de correlación entre las variables originales y las vc dan un indicio de la significación de los caracteres. Los caracteres discriminantes más importantes asociados a la primera vc corresponden a los días a FM y FF, al NHI y al AC, con signo negativo. Los caracteres más importantes ligados a la segunda vc son también AC y el NHI con signos opuestos. Los caracteres discriminantes más importantes ligados a la tercera vc son la LC y la relación LC/LE. Para la cuarta vc, los caracteres de mayor peso relativo son las alturas (AT, AES), PE y el DME.

En el diagrama de dispersión (Fig. 2), los puntos representan los valores de la primera y segunda vc correspondientes a cada una de las formas raciales (OTUs). El grado de similitud entre las OTUs se determina por la proximidad entre los puntos,

en el espacio delimitado por los ejes canónicos. Si consideramos a la primera vc y/o segunda vc, podemos discriminar a las poblaciones raciales por la longitud del ciclo vegetativo y por los caracteres AC y NHI. Así por ejemplo, las razas CHU, PI y GA se encuentran significativamente alejadas entre sí y de las restantes OTUs, entre las que también se evidencian distintos grados de similitud.

En el fenograma de distancia entre OTU (Fig. 3), a un bajo nivel de similitud, se pueden distinguir dos grupos:

Primer grupo (GI): representado por la raza *Chullpi* (CHU). Ésta posee un ciclo vegetativo largo (108 días a floración masculina, siendo la raza más tardía de todas las estudiadas). Las plantas son también las más altas, con casi 20 hojas de promedio, con 1-3 espigas/planta, ubicándose la espiga distal en el tercio superior de la altura total, en la hoja número 15. Las espigas son livianas, con un número elevado de hileras de granos (NHI = 18,31), de poca longitud y con una cantidad de granos por hilera medianamente (m)-baja. El diámetro en el punto medio es m-bajo. Los granos son largos, angostos (AC = 59,04) y delgados. El endosperma es harinoso en la parte basal y dextrinoso en la parte distal, lo que hace que en esta parte sean rugosos a la madurez. El índice EC/LC es m-bajo; LC/LE es m-alto y el DME/LE es alto. Se observaron 1, 2 o 3 macollos/planta. (1) Las espigas y granos evaluados de esta raza no habían alcanzado su plena madurez en el momento de su recolección.

Segundo grupo (GII). Está integrado por las restantes formas raciales y los dos testigos y se diferencia en los subgrupos A y B.

Subgrupo A (SA). Está representado por la raza *Pisingallo* (PI) de ciclo vegetativo relativamente corto (82 días a floración masculina), siendo una de las razas de mayor precocidad. Las plantas son también las más bajas (después del TEST2), con 17 hojas, con 1-4 espigas. La espiga distal se inserta ligeramente por encima de la mitad de la altura total en la hoja 12 o 13. Las espigas (algunas fasciadas) son cortas, de diámetro m-bajo y con peso m-alto, con muchas hileras de granos (NHI = 20,69) y con un número bajo de granos por hilera. Los granos blancos o moteados de negro o azul, son cortos, angostos (AC = 53,44), de espesor m-alto, notablemente rostrados, con endosperma córneo y con peso m-bajo. El valor del índice DME/LE está entre los más elevados de las formas raciales

Tabla 4. Comparación de medias de los caracteres morfológicos vegetativos (AES, NHES, AT, HT) y de la longitud del ciclo vegetativo (LCV), correspondiente a cada raza, obtenidos de los cultivos experimentales realizados en las provincias de Jujuy, Buenos Aires y Catamarca.

GENOTIPOS	CARACTERES MORFOLOGICOS VEGETATIVOS										CICLO VEGETATIVO				
	AES (cm)		NHES		AT (cm)		HT		LCV (días)		Bs.As.	Cat.	Bs.As.	Jujuy	Cat.
	Bs.As.	Jujuy	Bs.As.	Jujuy	Bs.As.	Jujuy	Bs.As.	Jujuy	Bs.As.	Jujuy					
AG1	146.60	88.71	73.50	12.56	11.92	203.80	148.06	130.00	21.80	17.29	18.00	112.00	84.00	69.00	
ACH2	106.80	59.97	85.30	11.56	14.67	163.20	112.09	157.00	19.60	15.65	20.00	106.00	85.00	72.00	
ACH2B	117.00	-	-	15.00	-	201.00	-	-	21.00	-	-	-	-	-	
CP3	126.00	82.72	-	16.00	12.34	180.67	144.03	-	22.00	17.41	-	105.00	89.00	-	
CR4	138.33	78.51	-	15.33	12.37	195.33	132.11	-	21.00	17.71	-	107.00	88.00	-	
CR4B	142.25	-	-	16.75	-	217.50	-	-	23.75	-	-	-	-	-	
GA5	142.00	66.00	43.40	19.00	11.43	230.50	110.04	100.00	25.00	16.77	17.00	109.00	99.00	89.00	
CU6	124.25	67.77	84.00	16.00	12.11	193.50	126.86	138.00	20.75	16.40	18.00	115.00	87.00	82.00	
MA7	128.75	82.03	-	14.67	12.56	218.25	138.62	-	22.50	17.82	-	111.00	88.00	-	
HA8	142.00	68.27	88.20	17.50	11.67	207.25	127.21	144.00	23.75	16.31	20.00	104.00	87.00	80.00	
CHU9	217.67	122.42	141.00	21.00	14.92	256.33	177.50	183.00	26.00	19.65	21.00	115.00	108.00	94.00	
OR10	134.00	82.86	-	16.25	15.80	190.50	141.57	-	22.50	18.23	-	106.00	89.00	-	
BO11	107.60	63.25	30.80	16.50	10.97	163.20	126.67	90.30	21.75	17.80	14.00	105.00	82.00	82.00	
MO12	111.00	59.23	35.90	14.60	11.60	201.00	129.63	91.60	21.80	16.91	16.00	108.00	83.00	74.00	
CB13	165.00	88.28	-	19.00	12.08	230.50	149.03	-	23.50	17.41	-	106.00	89.00	-	
CB13B	184.67	-	-	14.00	-	255.50	-	-	23.75	-	-	-	-	-	
AZ14	116.00	52.34	43.80	14.00	11.38	199.20	110.13	90.00	19.80	15.69	17.00	102.00	83.00	88.00	
PI15	95.75	54.19	-	15.25	12.66	148.25	98.31	-	20.75	16.88	-	100.00	82.00	-	
TEST1	159.00	82.42	40.90	17.60	11.42	218.40	161.08	79.50	23.40	16.58	16.00	107.00	82.00	65.00	
TEST2	143.25	40.00	43.40	15.25	9.86	200.50	91.29	100.00	21.00	14.00	17.00	110.00	86.00	65.00	

Genotipos:

AG1: *Amarillo Grande*, ACH2: *Amarillo Chico*, CP3: *Capia Púrpura*, CR4: *Capia Rosado*, GA5: *Garrapata*, CU6: *Culli*, MA7: *Marrón*, HA8: *Harinoso*, CHU9: *Chullpi*, OR10: *Ocho Rayas*, BO11: *Bolita*, MO12: *Morocho*, CB13: *Capia Blanco*, AZ14: *Azul*, PI15: *Pisingallo*. Testigos: TEST1: *Blanco Boliviano*, TEST2: *Amarillo Dentado*.

Caracteres:

AES (cm): altura hasta la inserción de la espiga distal, NHES: número de hojas a la espiga distal; AT (cm): altura total de la planta, HT: número total de hojas/planta; LCV (días): Longitud del Ciclo Vegetativo, determinado como el número de días transcurridos desde la siembra hasta la floración masculina.

Tabla 5. Coeficientes de correlación entre las variables originales y las 4 primeras variables canónicas. En la parte superior de la tabla se detallan solamente los valores más significativos y se multiplican por 100. La magnitud de los coeficientes indica que caracteres son los más importantes. En la parte inferior de la tabla se muestran los auto valores y los porcentajes acumulados.

Caracteres	Variables Canónicas			
	C1	C2	C3	C4
AES	16	27	17	55
NHES			11	12
AT	9	23	16	55
HT				15
FM	58	48	24	-40
FF	53	42	20	-45
NE		-9	6	11
PE	12		-27	50
PET	-9	-6	18	42
NHI	53	-50	-11	47
CHI	-5		8	11
LE	-21	8	17	36
DEA	7	-8	-20	30
DEB				14
DME	11		-35	53
P50C	-34	22	-22	45
LC		23	-69	44
AC	-52	53	-6	39
EC	-16			
EC/LC	-13	-14	37	-25
DME/LE	28		-35	8
LC/LE	20	8	-53	-11
Autovalores	7.54	5.02	1.74	0.64
Porcentajes Acumulados (%)	45.02	75.01	85.37	89.18
Porcentajes (%)	45.02	29.99	10.36	3.81

AES (cm): altura hasta la inserción de la espiga distal, NHES: número de hojas a la espiga distal, AT (cm): altura total de la planta, HT: número total de hojas/planta; FM (días): floración masculina, FF (días): floración femenina (FF), P (días): protandria ($P = FF - FM$), NE: número de espigas por planta, PE (g): peso de la espiga distal, PET (g): peso total de espigas/planta, NHI: número de hileras de granos/espiga, CHI: número de cariopses por hilera, LE (cm): longitud de la espiga, DEA (mm): diámetro de la espiga en el ápice, DEB (mm): diámetro de la espiga en la base, DME (mm): diámetro de la espiga en el punto medio, P50C (g): peso de 50 cariopses, LC (mm): longitud de 10 cariopses, AC (mm): ancho de 10 cariopses, EC (mm): espesor de 10 cariopses; IN1: índice 1: DME/LE, IN2: índice 2: EC/LC, IN3: índice 3: LC/LE.

consideradas, mientras que los índices: EC/LC y LC/LE son m-altos.

Subgrupo B (SB). Se diferencia en los conjuntos 1 y 2.

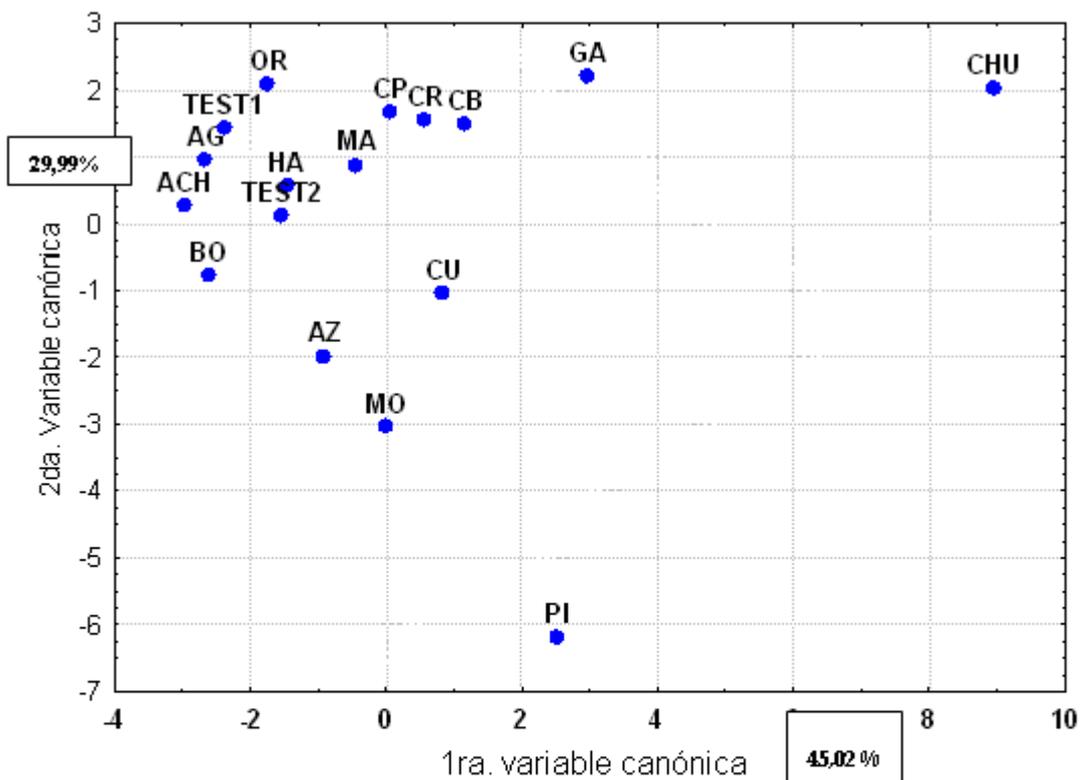
Conjunto 1 (C1): está representado por la raza *Garrapata (GA)*. El ciclo vegetativo es intermedio largo (semitardía), con 99 días a floración masculina. Las plantas son relativamente bajas con 17 hojas, con 1-2 espigas por planta. La espiga distal se inserta por encima de la mitad de la

altura total. Las espigas tienen un número m-bajo de hileras ($NHI = 10,46$) y bajo número de granos por hilera. Son de peso bajo y diámetro pequeño. Los granos son dentados, largos, de anchura m-baja, de color gris azulado con manchas blancas (en la capa aleuronífera), poseen endosperma harinoso blanco y pericarpo incoloro. Son de peso y tamaño m-bajo. Los índices DME/LE y LC/LE son elevados, mientras el índice EC/LC es m-bajo. Se observaron 1, 2 ó 3 macollos/planta.

Conjunto 2 (C2): está integrado por las restantes OTU y se lo subdivide en a y b:

Subconjunto a (Sa). Está compuesto por las formas raciales *Culli* (CU), *Azul* (AZ) y *Morocho* (MO). Estas formas raciales poseen en común un ciclo vegetativo relativamente corto con 83 días a floración masculina para AZ y MO y 87 días para CU. Las plantas son bajas en AZ y m-bajas para CU y MO, con 16 a 17 hojas, presentando 1-3 espigas por planta, ubicándose la espiga distal por encima de la mitad de la altura total en CU ó

ligeramente por debajo en AZ y MO, en las hojas 11 ó 12. Los tallos y hojas de la raza CU suelen ser de color púrpura. Las espigas de mediana longitud, son pesadas en MO ó m-pesadas en AZ y CU, tienen 12 hileras de granos en CU y AZ ó 14 hileras en MO, y alta o mediana cantidad de granos por hilera. El diámetro medio es bajo o m-bajo. En MO las espigas son pesadas y posee el valor más alto del PET en comparación a las otras formas componentes del grupo. Los granos de color y estructura variada, son cortos, m-angostos, de



Genotipos:

AG: *Amarillo Grande*, ACH: *Amarillo Chico*, CP: *Capia Púrpura*, CR: *Capia Rosado*, GA: *Garrapata*, CU: *Culli*, MA: *Marrón*, HA: *Harinoso*, CHU: *Chullpi*, OR: *Ocho Rayas*, BO: *Bolita*, MO: *Morocho*, CB: *Capia Blanco*, AZ: *Azul*, PI: *Pisingallo*

Testigos: TEST1: *Blanco Boliviano*, TEST2: *Amarillo Dentado*

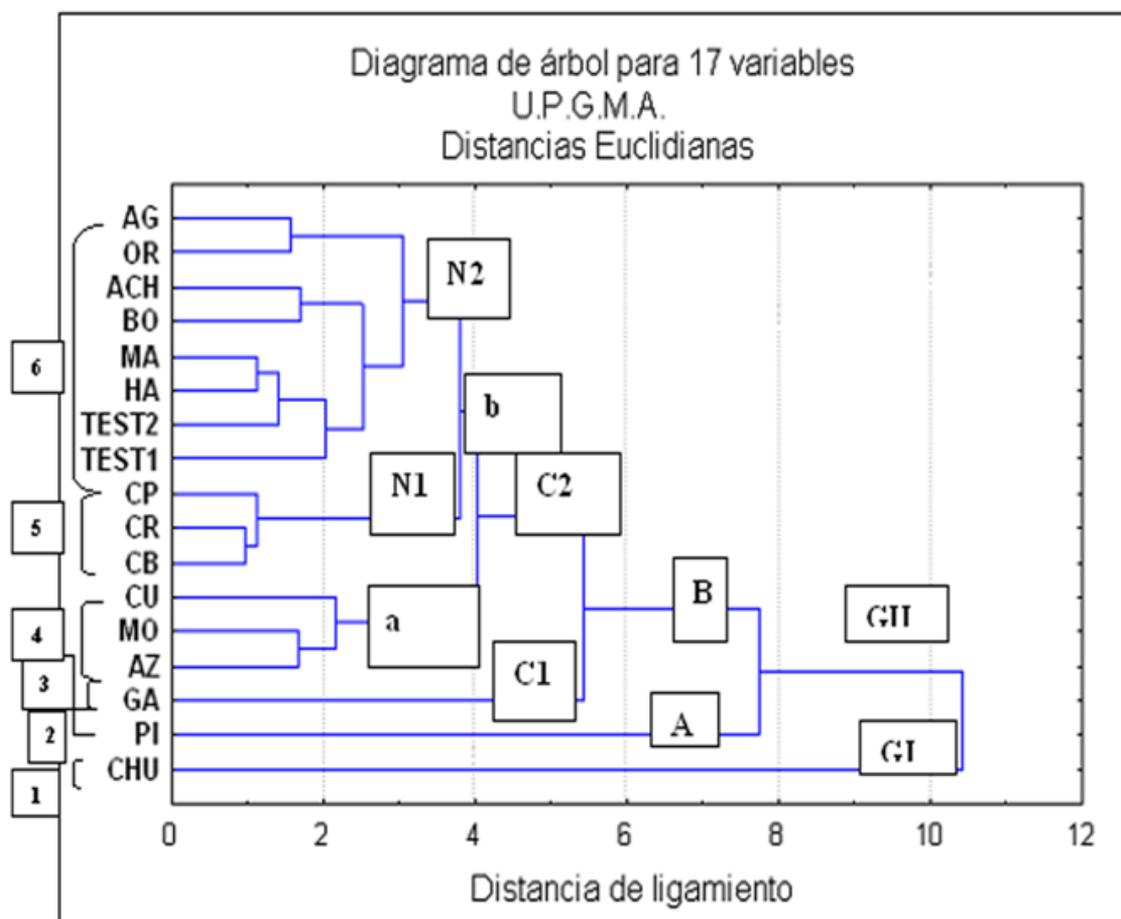
Fig. 2. Diagrama de dispersión del conjunto de las formas raciales de maíz consideradas según valores medios de las dos primeras variables canónicas. Los puntos o valores medios representan a cada una de las formas raciales.

espesor alto ó intermedio. Los índices: DME/LE, LC/LE son m-bajos, mientras el EC/LC es alto. Se observaron 1, 2, ó 3 macollos/planta en las razas CU y MO.

Subconjunto b (Sb): se diferencia en los núcleos N1 y N2.

El núcleo N1 está compuesto por las formas raciales: *Capia Púrpura* (CP), *Capia Rosado* (CR) y *Capia Blanco* (CB). Las formas raciales mencionadas poseen en común, un ciclo vegetativo intermedio corto (semiprecoces) de 88-89 días a

floración masculina. Las plantas, son m-altas en las razas CP y CB y m-bajas en CR, con 17 a 18 hojas, con 1-3 espigas por planta, ubicándose (la espiga distal) por encima de la mitad de la altura total, en la hoja 12. Las espigas, con 10-12 hileras de granos (NHI = 11,44), son de mediana longitud y poseen una variada cantidad de granos por hilera. El diámetro medio es m-bajo en CP y CB ó m-alto en CR. Los granos son amiláceos, largos, pesados, anchos (AC = 96,20) y de espesor m-alto, de color púrpura, blancos ó rosados. El índice DME/LE es



Genotipos:

AG: *Amarillo Grande*, ACH: *Amarillo Chico*, CP: *Capia Púrpura*, CR: *Capia Rosado*,
GA: *Garrapata*, CU: *Culli*, MA: *Marrón*, HA: *Harinoso*, CHU: *Chullpi*, OR: *Ocho Rayas*,
BO: *Bolita*, MO: *Morocho*, CB: *Capia Blanco*, AZ: *Azul*, PI: *Pisingallo*
Testigos: TEST1: *Blanco Boliviano*, TEST2: *Amarillo Dentado*

Fig. 3. Fenograma (UPGMA) de distancias euclidianas entre las formas raciales de maíz nativas de las provincias Jujuy y/o de Salta y dos variedades comerciales utilizadas como testigos.

alto en CR, m-alto en CB o m-bajo en CP. El EC/LC es m-bajo y el LC/LE es alto en CR y CB, ó m-alto en CP. Se observaron plantas con 1,2 ó 3 macollos en las razas CR y CB.

El núcleo N2 está integrado por los pares de OTU: *Amarillo Grande-Ocho rayas* (AG-OR); *Amarillo Chico-Bolita* (ACH-BO) y *Marrón-Harinoso* (MA-HA) y los dos testigos (TEST1 TEST2). Exceptuando a la raza OR y a los dos testigos que son de ciclo intermedio las demás formas raciales citadas son de ciclo vegetativo corto. Las plantas son bajas o m-altas, con 16-18 hojas, presentando 1-3 espigas por planta, ubicándose, la espiga distal, por encima de la mitad de la altura total. Las espigas son m-livianas en ACH y m-pesadas en las restantes OTU, tienen un número bajo de hileras de granos (NHI = 8,46); de baja, alta o mediana longitud y una cantidad variable de granos por hilera. El DME es pequeño o m-bajo en el TEST1, siendo las de mayor diámetro las del TEST2. Los granos son de peso alto o m-alto, cortos en AG y ACH o medianos, muy anchos (AC = 100,89), de espesor alto o mediano, lisos, blancos, castaños o amarillos. El índice DME/LE es bajo o mediano, el EC/LC es alto o mediano mientras que la relación LC/LE resultó variable. Se observaron macollos en algunas plantas de las razas AG, MO y BO.

Asimismo, en el mismo fenograma (Fig. 3), si se considera un nivel de similitud intermedia, es decir una distancia de 3,2, se pueden diferenciar los grupos siguientes:

grupo 1 (G1) está representado por la raza *Chullpi* (CHU) ó maíz *Dulce*.

grupo 2 (G2) está representado por la raza *Pisingallo* (PI) o *Pisincho*.

grupo 3 (G3) está representado por la raza *Garrapata* (GA).

grupo 4 (G4) lo integran las razas: *Culli* (CU), *Azul* (AZ) y *Morocho* (MO).

grupo 5 (G5) está formado por las razas de maíces *Capias*: *Capia Blanco* (CB), *Capia Rosado* (CR) y *Capia Púrpura* (CP).

grupo 6 (G6) está compuesto por los siguientes pares de OTU: *Amarillo Grande-Ocho rayas* (AG-OR); *Amarillo Chico-Bolita* (ACH-BO); *Marrón-Harinoso* (MA-HA) y los dos testigos.

La red de Prim (RP, árbol de la mínima distancia) representado en la Figura 4, muestra la interrelación

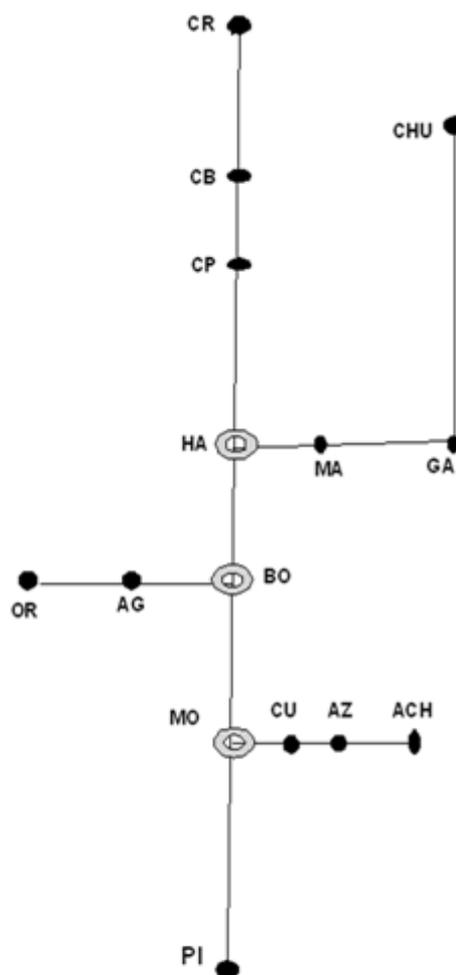
existente entre el conjunto de las formas raciales consideradas: sobre una línea principal se disponen distintos puntos de diversificación, correspondientes a las razas *Harinoso* (HA), *Bolita* (BO) y *Morocho* (MO). En uno de los extremos de la línea principal se ubica a la forma *Pisingallo* (PI) con características primitivas, mientras que en los otros extremos se ubican las restantes formas raciales con características probablemente derivadas: grupo de maíces *Capia* (CP, CB, CR), *Chullpi* (CHU), *Garrapata* (GA) y *Marrón* (MA)] vinculados con *Harinoso* (HA); el grupo *Amarillo Grande* (AG) y *Ocho Rayas* (OR) vinculado con *Bolita* y el grupo *Culli* (CU), *Azul* (AZ) y *Amarillo Chico* (ACH) vinculado con *Morocho* (MO).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados del ANOVA, en las condiciones ambientales de Hornillos (Jujuy), permitieron confirmar la existencia de diferencias altamente significativas entre las poblaciones raciales, para casi todos los caracteres considerados. Asimismo, dichos resultados justifican la aplicación de los métodos multivariados utilizados.

Las causas más probables de las diferencias entre las medias de las variables morfológicas vegetativas y fenológicas entre las razas y entre los sitios (Buenos Aires, Jujuy y Catamarca), pueden atribuirse a la fecha de siembra y a los parámetros climáticos (temperatura, fotoperiodo) y/ó edáficos. La siembra en Buenos Aires se realizó el 1-12-2010, emergiendo las plántulas con los días alargándose mientras que en Jujuy la siembra se realizó el 11-12-2010 y la emergencia de las plántulas ocurre 7-10 días después o sea cercano al 21 de diciembre con los días acortándose. El desarrollo de las plántulas en días cortos pudo haber inducido la floración y el acortamiento del ciclo, determinando un menor desarrollo vegetativo de las plantas. Mientras en Buenos Aires la emergencia de las plántulas se produce con los días alargándose lo que habría retrasado la inducción de la floración y se habría producido un alargamiento del ciclo (determinando un mayor desarrollo vegetativo de las plantas hasta producirse la inducción de la floración, con los días acortándose, durante febrero o marzo).

Los resultados del ADC indican que las dos primeras vc que representan el 75 % de la variación



Genotipos:
 AG: *Amarillo Grande*, ACH: *Amarillo Chico*, CP: *Capia Púrpura*, CR: *Capia Rosado*,
 GA: *Garrapata*, CU: *Culli*, MA: *Marrón*, HA: *Hannoso*, CHU: *Chulipi*, OR: *Ocho Rayas*,
 BO: *Bolita*, MO: *Morocho*, CB: *Capia Blanco*, AZ: *Azul*, PI: *Pisingallo*

Fig. 4. Red de Prim: se muestra las relaciones de similitud entre las 15 OTUs.

total son suficientes para explicar la variación encontrada y poder representarla en un gráfico bidimensional, dado que sintetizan un porcentaje significativo de las diferencias observadas entre OTU. Considerando la magnitud de los coeficientes de correlación entre las variables originales y las variables canónicas puede conocerse el valor sistemático de cada uno de los caracteres, siendo

en este estudio los caracteres discriminantes más importantes asociados a la primera y segunda variable canónica, el número de hileras de granos por espiga, la anchura de los granos y principalmente el número de días a floración masculina, los que fueron utilizados para determinar la longitud del ciclo vegetativo correspondiente a cada una de las razas. La tercera variable canónica está asociada

a longitud del cariopse y a la relación entre la longitud del cariopse y la longitud de la espiga. La cuarta variable canónica está ligada a los caracteres de altura de inserción de la espiga superior, altura total de la planta y al peso y al diámetro en el punto medio de la espiga.

Las diferencias (extremas) en la longitud del ciclo vegetativo constituye uno de los factores más importantes que habrían contribuido a la conservación de las distintas formas raciales (desde la época precolombina hasta el presente) al impedir la hibridación natural entre las mismas, en particular cuando son cultivadas en un mismo espacio por un mismo agricultor. Asimismo, el cultivo de más de una forma racial con distinto periodo de floración les habría permitido a los agricultores superar posibles adversidades climáticas o de otra índole y diversificar el uso de estos materiales.

El análisis canónico y en particular el de agrupamiento, a un bajo nivel de similitud, permitió circunscribir al conjunto de muestras a los dos grupos siguientes: G1 y G2.

El *primer grupo* (G1) está representado por la raza *Chullpi* ó maíz *Dulce*. Esta forma racial posee un ciclo vegetativo largo, siendo la más tardía de todas las razas estudiadas. Esta forma se corresponde con la variedad *amyleasaccharata* (Sturt.) Bailey (*Zea amyleasaccharata* (Sturt.) y con la razas *Chuspillo* de Bolivia y *Chullpi* del Perú y es incluida por Goodman & Bird (1977), en el grupo X-Complejo Andino Central y en el grupo XIII- Humahuaca. Es considerada dentro del grupo de razas aisladas o especiales (Alleoni, 1957) y en el grupo del Valle (Brieger *et al.*, 1958). Los granos son dulces, duros y cristalinos en la parte distal (endosperma dextrinoso y rugosos a la madurez) y harinosos y opacos en la parte proximal (que rodea al embrión). El cultivo de esta raza comprende a las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán y Catamarca (Cámara Hernández *et al.*, 2012).

El *segundo grupo* (G2), está integrado por las restantes formas raciales e incluye a las dos poblaciones locales utilizadas como testigos y se diferencia en dos subgrupos: A y B.

Subgrupo A (SA), está representado por la raza *Pisingallo* o *Pisincho*, posee ciclo vegetativo corto, siendo una de las razas más precoces de todas. Esta raza se relaciona con *Zea mays* var. *oryzaea* Kuleshov (*Zea rostrata* Bonafus, *Zea everta* Sturtevant) y con la raza *Pisanckalla* de Bolivia e

incluida en el complejo racial III- Reventadores del Sur de América por Goodman & Bird (1977). Es considerada como del grupo Pisincho (Brieger *et al.*, 1958) y de razas antiguas básicas en la región, con el nivel más primitivo de domesticación (Alleoni, 1957). Por su constitución genética es asignada también al grupo de los maíces Reventadores de ápices puntiagudos (Lía, 2004). Las espigas (a veces fasciadas) presentan un elevado número de hileras. Los granos son pequeños y uno de los más angostos. Son blancos o moteados de negro o azul, duros y cristalinos y presentan un rostro muy notable. El área de cultivo comprende a las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero y La Rioja (Cámara Hernández *et al.*, 2012).

Subgrupo B (SB). Se diferencia en los conjuntos 1 y 2.

Conjunto 1 (C1): está representado por la raza *Garrapata* de ciclo vegetativo intermedio largo, (semitardía). Esta raza se corresponde con *Zea mays* Var. *amylacea* (Sturtevant) Parodi (*Zea amylacea* Sturt.). Es considerada dentro del grupo de “razas antiguas básicas” en la región (Alleoni, 1957) y en el grupo del Valle (Brieger *et al.*, 1958). Posee granos dentados con endosperma harinoso (a igual que los Capias) y aleurona moteada de color azul a negro. Se la denomina también como *Capia Tabanito* y se la cultiva en Jujuy y Salta (Cámara Hernández *et al.*, 2012).

Conjunto 2 (C2): está integrado por las restantes OTU y se subdivide en los Subconjuntos *a* y *b*.

El *Subconjunto a* (Sa), incluye a las razas: *Culli* (CU), *Azul* (AZ) y *Morocho* (MO) de ciclo vegetativo relativamente corto (precoces). La raza CU de este subconjunto se relaciona con *Zea mays* Var. *amylacea* (Sturtevant) Parodi (*Zea amylacea* Sturt.) y las razas AZ y MO con *Zea mays* Var. *indurata* (Sturtevant) Bailey. Las razas CU y AZ, son consideradas dentro del grupo de razas aisladas o especiales y a la raza MO en los grupos de razas sintéticas antiguas (Alleoni, 1957) y posteriormente en el Grupo del Valle, en la región de Humahuaca (Brieger *et al.*, 1958). Las espigas poseen un número de hileras m-bajo con granos de anchura media baja. La raza CU posee granos morados o negros intensos, con endosperma harinoso y el color se encuentra en el pericarpo. Mientras que en AZ u *Oke* el color se encuentra en la aleurona y el pericarpo es incoloro. El endosperma es harinoso en el centro y está rodeada de una capa córnea delgada. MO, posee

granos blancos, lisos, con endosperma harinoso reducido y una capa córnea más desarrollada. AZ se cultiva en Jujuy; CU en Jujuy y Salta y MO en las provincias Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja y Santiago del Estero (Cámara Hernández *et al.*, 2012).

El *Subconjunto b* (Sb), se diferencia en los núcleos N1 y N2.

El núcleo N1 lo integran las formas raciales *Capias* (CB, CR y CP), de ciclo vegetativo intermedio corto (semiprecoces). Las razas del núcleo N1, se relacionan con *Zea mays* Var. *amylacea* (Sturtevant) Parodi (*Zea amylacea* Sturt.). P. y estaría incluido en el complejo racial XIII- Grupo de Humahuaca (Goodman & Bird, 1977). Es considerada dentro del grupo de razas antiguas básica en la región (Alleoni, 1957) y en el grupo del Valle (Brieger *et al.*, 1958). Posee granos blancos (CB), rosados (CR) ó purpúreos (CP) (con pigmentos en el pericarpo), amiláceos, alargados, semidentados. La raza CB, se cultiva en Jujuy, Salta, Catamarca y La Rioja. Mientras que los cultivos de CR y CP estarían restringidos a Jujuy y Salta (Cámara Hernández *et al.*, 2012).

El núcleo N2 está compuesto por los siguientes pares de OTU: *Amarillo Grande-Ocho rayas* (AG-OR); *Amarillo Chico-Bolita* (ACHI-BO); *Marrón-Harinoso* (MA-HA) y los dos testigos (TEST1 y TEST2). La raza HA y las dos variedades locales utilizadas como testigos se corresponden con *Zea mays* Var. *amylacea* (Sturtevant) Parodi, mientras las otras razas (AG, OR, ACH y BO) se relacionan con *Zea mays* Var. *indurata* (Sturtevant) Bailey, (Parodi, 1947, 1966, Luna *et al.*, 1964). AG y ACH, en base a sus características morfológicas y citogenéticas, pueden ser asignadas al Complejo Andino (Cámara Hernández & Miente Alzogaray, com. pers.; Rosato, 1997, citados por Lía, 2004). Asimismo, AG y ACH, denominadas con el nombre de *Amarillo de Ocho* (Alleoni, 1957, Brieger *et al.*, 1958), son consideradas dentro del grupo de razas antiguas básicas en la región. Las espigas poseen el número más bajo de hileras de granos. Estos poseen los granos de mayor anchura de casi todas las razas consideradas. Los colores son variados según la raza (amarillo, marrón, blanco o variegados). Las razas AG, ACH y BO poseen endosperma y aleurona amarillos y el pericarpo incoloro. Los granos de la raza MA, tienen endosperma incoloro y pericarpo de color castaño. La raza HA posee granos con endosperma harinoso y la capa aleuronifera

incolores y el pericarpo a veces variegado. El cultivo de ACH se extiende a las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca; el cultivo de las razas AG y HA en Jujuy y Salta y mientras que el de las razas MA y OR se restringe a las provincias de Jujuy y Salta, respectivamente (Cámara Hernández *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos mediante la técnica del retículo de Prim, representan un “árbol evolutivo hipotético” del conjunto de las formas raciales estudiadas. Asimismo, constituye otra forma de análisis de agrupamiento (Crisci & López Armengol, 1983). En la red de Prim, en uno de los extremos de la línea principal se ubica a la raza PI con características primitivas, mientras que en los otros extremos se ubican los maíces *Capias* (CP, CB, CR); CHU; GA y MA vinculado con HA; el grupo AG y OR vinculado con BO y el grupo CU, AZ y ACH vinculado con MO, con características probablemente derivadas.

De los resultados expuestos, puede inferirse que la variación encontrada y el reagrupamiento obtenido son importantes desde el punto de vista taxonómico-evolutivo y para la elección de materiales a emplearse en una evaluación genética y en el mejoramiento de la productividad de la especie. Asimismo, la síntesis de la información relevante de las formas raciales estudiadas en función de los caracteres empleados puede constituir el punto de partida para ulteriores investigaciones (genéticas, fisiológicas, bioquímicas, etc.). La integración de datos morfológicos y moleculares permitiría lograr, un sistema natural de clasificación de las razas de maíz nativas de Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Director del INTA-IPAF Dr. Damián L. Alcoba por el ofrecimiento del sitio para realizar el ensayo en EE-Hornillos. A la Dra. Dora Vignale y al Dr. Jorge Shimps por sus sugerencias y colaboración en la búsqueda del lugar más adecuado para realizar este trabajo. Al Ing. Agr. Juan de Pascuale y a los Sres. Darío Castro y Bruno Cari R., por la colaboración prestada en las tareas técnicas en el cultivo y de relevamiento de datos. Al Dr. Edgardo Ortiz Jaureguizar por la estimación de las distancias mínimas y la obtención del árbol valuado mínimo (MST). Al Profesor Ing. Agr. Dr. Jorge Casal por la lectura crítica del manuscrito. A la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), que

mediante el subsidio UBACyT, 20020090100170 Programación 2010-2012, otorgado al Profesor Ing. Agr. Daniel Roberto Tortosa, nos permitió efectivizar el presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ABIUSSO, A. & J. CÁMARA HERNÁNDEZ. 1974. Los maíces autóctonos de la Quebrada de Humahuaca (Jujuy) sus niveles nitrogenados y su composición en aminoácidos. *Revista Fac. Agron.* 50: 1-25.
- ALFARO, Y. & V. SEGOVIA. 2000. Maíces del Sur de Venezuela clasificados por taxonomía numérica. II. Caracteres de la planta y de la mazorca. *Agronomía Trop.* 50(3): 435-460.
- ALLEONI, M. R. B. 1957. Raças de milho da "Quebrada de Humahuaca". Republica Argentina. *Tese para doutoramento*. Piracicaba. 46 p.
- BELL, C. R. 1968. Variación y clasificación de las plantas. *Ed. Herrero Hnos.* México. 142 p.
- BRIEGER, F. G., J. T. A. GURGEL, E. PATERNIANI, A. BLUMENSCHNEIN & M. R. ALLEONI. 1958. Races of maize in Brazil and other eastern South American countries. *Nat. Acad. Sci. Nat. Res. Council.* Publ. 593. Washington D.C 283 p.
- CÁMARA HERNÁNDEZ, J. & A. M. MIANTE ALZOGARAY. 1979. Las razas de maíz de la provincia de Salta. *Resúmenes XVII Jorn. Arg. de Botánica*, Santa Rosa. La Pampa.
- CÁMARA HERNÁNDEZ, J. & A. M. MIANTE ALZOGARAY. 1981. Razas de maíz (*Zea mays L.*) nativas de Tucumán y Catamarca. *Resúmenes XVIII Jorn. Arg. de Botánica*. Tucumán.
- CÁMARA HERNÁNDEZ, J. & A. M. MIANTE ALZOGARAY. 2003. Caracterización y clasificación, en razas, de maíces nativos de la provincia de Misiones. Argentina. *Libro de resúmenes IV Simposio de recursos genéticos para América latina y el Caribe*. Mar de Plata.
- CÁMARA HERNÁNDEZ, J. & A. M. MIANTE ALZOGARAY. 2016. Maíces indígenas de la Quebrada de Humahuaca y regiones vecinas (provincia de Jujuy, Argentina). *Editorial Facultad de Agronomía UBA*. Vol. 1, 24 p.
- CÁMARA HERNÁNDEZ, J. & D. ARANCIBIA DE CABEZAS. 2007. Maíces andinos y sus usos en la Quebrada de Humahuaca y regiones vecinas. Editorial Facultad de Agronomía, UBA, Vol. 1, 60 p. Buenos Aires.
- CÁMARA HERNÁNDEZ, J., A. M. MIANTE ALZOGARAY, R. BELLÓN & A. J. GALMARINI. 2012. Razas de maíz nativas de la Argentina. *Editorial Facultad de Agronomía UBA*. Vol. 1, 174 p.
- CAMUSSI, A. 1979. Numerical taxonomy of Italian populations of maize based on quantitative traits. *Maydica* 24: 161-174.
- CAMUSSI, A., P. L. SPAGNOLETTI ZEULI & P. MELCHIORRE. 1983. Numerical taxonomy of Italian maize populations: genetic distances on the basis of heterotic effects. *Maydica* XXVIII: 411-424.
- CATÁLOGO INTA. 1997. Catálogo de Germoplasma de maíz. Argentina. Biblioteca Agraria Tropicale. Instituto Agronomico per L'ultramare. Firenze.
- CRISCI, J. V. & M. F. LÓPEZ ARMENGOL. 1983. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. *OEA*. N°26
- CUTLER, H. C. 1946. Races of maize in South America. *Bot. Mus. Leaffl. Harv. Univ.* 12: 257-291.
- EYHERABIDE, G. H. 2004. Incorporación de germoplasma indígena de maíz en materiales elite. *Revista IDIA XXI*, 6: 105-110.
- FALCONER, D. S. & T. MACKAY. 1996. Introduction to quantitative genetics 2nd ed. Longman: London.
- FRAYSSINET, N., S. CARDONE, I. FURLANI, N. BARTOLONI & C. BANCHERO. 2001. Genic male sterility in native maize populations. *J. of Basic & Applied Genetics*. 14(1): 25-31.
- GIROLA, C. D. 1919. Variedades de maíz cultivadas en Argentina. *Talleres Gráficos J. Weiss y Preusche-Buenos Aires*. Vol. 1, 169 p.
- GOODMAN, M. M. & R. MCK. BIRD. 1977. The races of maize: IV tentative of grouping of 219 Latin American races. *Econ. Bot.* 31: 204-221.
- HOROVITZ, S. 1935. Distribución geográfica de factores genéticos en maíces autóctonos del norte argentino. *Rev. Arg. Agr.* 2 (6): 133-135.
- HOURESQUOS, M. J., G. H. EYHERABIDE & M. E. FERRER. 2003. Utilización de poblaciones locales en premejoramiento de maíz. *Libro de resúmenes IV Simposio de recursos genéticos para América latina y el Caribe*. Mar de Plata.
- LIA, V. 2004. Diversidad genética y estructura poblacional en razas nativas de maíz (*Zea mays ssp. mays*) del Noroeste Argentino: presente y pasado del germoplasma autóctono. *Tesis Doctoral*. Laboratorio de Genética. Depto. de Ecología, Genética y Evolución de la UBA.
- LIA, V. V., L. POGGIO & V. A. CONFALONIERI. 2009. Microsatellite variation in maize landraces from Northwestern Argentina: genetic diversity, populations structure and racial affiliations. *Theor Appl Genet.* 119: 1053.
- LUNA, J. T., W. F. KUGLER, E. F. GODOY & L. E. MAZZONI. 1964. Maíz (*Zea mays L.*). En Parodi L. R.: *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería* Vol. II, Primera parte pp 553-589. *ACME*, Buenos Aires.

P. Melchiorre *et al.* - Relaciones fenéticas entre las razas de maíz nativas de Jujuy

- LLAURADÓ, M. & J. MORENO GONZALES. 1993. Classification of northern spanish populations of maize by methods of numerical taxonomy. I. Morphological traits. *Maydica* 38: 15-21.
- MELCHIORRE, P. 1992. Phenetic relationships among different races of maize (*Zea mays* ssp. *mays*) from Salta (Argentina). *Maydica* 37: 329-338.
- MELCHIORRE, P. & N. BARTOLONI. 2004. Phenetic relationships among native races of maize (*Zea mays* ssp. *mays*) from Northwestern Argentine (Catamarca). *J. Genet. & Breed.* 28: 233-242.
- MELCHIORRE, P., N. BARTOLONI & J. CÁMARA HERNÁNDEZ. 2006. Phenetic relationships among native races of maize (*Zea mays* ssp. *mays*) from North-eastern Argentina (Misiones). *J. Genet. & Breed.* 60: 173-182.
- MIANTE ALZOGARAY, A. M., A. J. GALMARINI & J. CÁMARA HERNÁNDEZ. 1996. Razas de maíz (*Zea mays* ssp. *mays*) nativas de Catamarca (Argentina). *Resúmenes XXV Jorn. Arg. de Botánica*, Mendoza. 17-22 de noviembre.
- MIANTE ALZOGARAY, A. M. & J. CÁMARA HERNÁNDEZ. 1996. Restos arqueológicos de maíz (*Zea mays* ssp. *mays*) de pampa grande, provincia de salta, argentina. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXI*: 149-159. Buenos Aires.
- MORINEAU, A. 1992. Análisis de un conjunto voluminoso de datos. *Conferencias en Buenos Aires. Presidencia de la Nación*. 3 y 7 septiembre, 1992. Buenos Aires. Argentina.
- PARODI, L. R. 1935. Relaciones de la agricultura prehispánica con la agricultura actual. Argentina actual. *An. Acad. Nac. Agr. y Vet.*, 1: 115-168. Buenos Aires.
- PARODI, L. R. 1947. Los maíces indígenas de la república argentina. *Anales. Acad. Nac. Ci. Exact.* Buenos Aires. XII: 9-14.
- PARODI, L. R. 1966. La agricultura aborigen argentina. EUDEBA. 48 p.
- REYES CASTAÑEDA, P. 1990. El maíz y su cultivo. México, D.F. A.G.T. Editor S.A.
- RIVAS, J. G. 2015. Caracterización de la diversidad genética de razas nativas de maíz (*Zea mays* ssp. *mays*) del Noroeste Argentino mediante descriptores morfométricos y marcadores moleculares. *Tesis Doctoral*. Instituto de Biotecnología CICV y A, INTA Castelar. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA.
- ROBUTTI, J. L., F. S. BORRÁS, M. E. FERRER & A. BIETZ. 2000. Grouping and identification of argentine maize races by principal component analysis of zein reversed-phase HPLC data. *Cereal Chem.* 77(2): 91-95.
- ROSATO, M., A. M. CHIAVARINO, C. A. NARANJO, J. CÁMARA HERNÁNDEZ & L. POGGIO. 1998. Genome size and numerical polymorphism for the B chromosome in races of maize (*Zea mays* ssp. *mays*, Poaceae). *Am. J. Bot.* 85(2): 168-174.
- ROHLF, F. J. 1993. NTSYS (Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis) System. Version 1.80. Exeter software. New York.
- SNEATH, P. H. A. & R. R. SOKAL. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. Freeman and Co., San Francisco. 573 p.
- TORREGROSA, M., J. CÁMARA HERNÁNDEZ, L. SOLARI, J. SAFONT LIS & O. CAVALLIERI. 1980. Clasificación preliminar de las formas raciales de maíz y su distribución geográfica en la República Argentina. *Asoc. Ing. Agr. Zona Norte Prov. Buenos Aires. II Congreso Nacional de Maíz*, 5-17.

Recibido el 10 de enero de 2017, aceptado el 6 de noviembre de 2017.

