

DIFERENCIACION GENETICA DE CULTIVARES DE AJO POR MEDIO DE UNIDADES DE DISTANCIAS MULTIVARIADAS

GUSTAVO ADOLFO LIGARRETO M.¹ RODRIGO ARTUNDUAGA R.²

RESUMEN

Cuantificar la similaridad genética entre grupos de poblaciones biológicas ha sido uno de los principales problemas de las ciencias naturales. Sin embargo, en las últimas décadas, con los grandes avances en el conocimiento de las bases genéticas de la variación y con el desarrollo de los computadores, se ha podido determinar la diversidad entre individuos de una población y entre grupos de poblaciones. En este estudio, mediante análisis multivariados, se hallaron los valores D^2 de Mahalanobis que permitieron estimar la divergencia genética entre cultivares de una colección colombiana de ajo. Los resultados señalan la formación de 3 grupos genéticos, uno de los cuales está integrado por genotipos con bulbos casi siempre desprovistos de túnicas envolventes, los otros grupos son de bulbos cubiertos y difieren entre sí, principalmente en el tamaño de los mismos, porte de la planta y reacción a enfermedades. La diversidad presente en la colección es de gran utilidad en el mejoramiento de clones.

Palabras Claves Adicionales: Análisis multivariado, taxonomía numérica, *Allium sativum*

¹ Sección Leguminosas, ICA. A.A. 151123 El Dorado, Santafé de Bogotá. D.C.

² Biotecnología Agrícola, ICA, C.I. Tibaitatá. Apartado aéreo 151123, El Dorado, Santafé de Bogotá D.C.

ABSTRACT

Genetic Differentiation of Cultivars of Garlic Using Measuring Multivariate Distances Measuring the similarities between biological population groups has always been one of the principal problems of natural sciences. However, with the development in recent decades of our knowledge of the genetic variation basis, and improvements in computer capabilities, it has been possible to know the degree of diversification between individual populations and groups of populations. In this research by application of multivariate analysis it was possible to find the Mahalanobis D^2 values that let to estimate the genetic divergence into cultivars of a colombian collection of garlic. The results showed the formulation of three genetic groups, one of them is conformed by genotypes with bulbs almost always unprotected from their sheated tunics, the other groups are composed by covered bulbs and are different with each other, not only in its bulbs size, but also height of plant, and illness reactions. The diversity collection helps very much in the cultivars improvement. Additional Index Words: Multivariate analysis, numerical taxonomy *Allium sativum*.

INTRODUCCION

El propósito de este trabajo fue estimar la divergencia genética de una colección de

14 cultivares de ajo, basada en la evaluación de 19 caracteres morfológicos y de rendimiento.

REVISION DE LITERATURA

En la taxonomía, el objetivo principal es clasificar los individuos, por su similitud, en grupos definidos usando características estables al ambiente. Usualmente, la clasificación se hace por medio de técnicas numéricas, en donde es necesario el conocimiento de los organismos, en orden a evaluar los resultados obtenidos, Sánchez (1989).

Anderson (1960), necesitando clasificar la variabilidad de maíz, definida por caracteres morfológicos, desarrolló un método semigráfico de clasificación. El método, que fue ampliamente usado entre 1940 y 1950, permitía clasificar genotipos hasta por 8 caracteres. Las técnicas multivariadas están disponibles desde hace años pero, con el desarrollo de la capacidad de los computadores y paquetes estadísticos, ha sido posible su utilidad en un amplio rango de actividades de investigación, Vera (1982).

El término de Taxonomía numérica fue definido por Sneath y Sokal en 1973 como "el agrupamiento por métodos numéricos de unidades taxonómicas de individuos con base en el estado de los caracteres". La clasificación por medio de la taxonomía numérica, usualmente, involucra dos pasos: el análisis de similaridad (o disimilaridad) entre unidades taxonómicas y análisis de conglomerados, Sánchez (1989).

El análisis de similaridad está basado en la estimación de una matriz de similaridad, constituida por valores cercanos entre los miembros de cada par posible de unidades taxonómicas. Actualmente, hay varias medidas de similaridad, algunas de las

más comunes son la distancia Euclidiana y la distancia generalizada de Mahalanobis, Johnson y Wichern (1988).

La distancia Euclidiana se basa en un modelo geométrico; los objetos son considerados como puntos en un espacio Euclidiano con coordenadas dadas por los caracteres del organismo estudiado. Dado X_{ij} que representa el promedio del carácter k del individuo i , la distancia entre el individuo i y j es definida como:

$$D_{ij} = [\sum (X_{ik} - X_{jk})^2]^{1/2}$$

La distancia de Mahalanobis asume normalidad en la distribución de los caracteres y que las poblaciones comparten la misma matriz de covarianza. La distancia de Mahalanobis se define como:

$$D_{ij}^2 = [(X_i - X_j) S^{-1} (X_i - X_j)]^{1/2}$$

Donde, X_i es el vector de promedios de los caracteres de la población i y S es la matriz de variancias y covarianzas entre las poblaciones i, j . La ventaja de esta distancia es la de considerar las correlaciones (por medio de S) entre los caracteres en estudio, Martínez, et al (1983).

Goodman (1967), entre otros autores de trabajos con técnicas multivariadas, aplicó la distancia generalizada de Mahalanobis para cuantificar similitudes entre 15 razas de maíz de la región subtropical del sudeste de Sur América y las conclusiones coinciden con los resultados de la taxonomía convencional.

Sachan y Sharma (1971), usando la distancia de Mahalanobis y componentes principales a datos de cuatro caracteres de 20 variedades de tomate de distintos orígenes geográficos, determinaron que la diversidad genética no estuvo relacionada con la diversidad geográfica. Las variables estudiadas fueron longitud de tallo, número de

tallos, número de inflorescencias y número de frutos por planta.

El análisis de conglomerados es una técnica de clasificación jerárquica ascendente, en la cual, establecidas las distancias entre p puntos (observaciones) en una nube n-dimensional (n=variables), se procede a la unión, en un mismo conglomerado, de los puntos más cercanos entre si.

Un conglomerado así formado se puede unir a otro punto o a otro conglomerado en un paso posterior, llegando a una jerarquía de conglomerados que tiene por limite, en un extremo, p conglomerados y en el extremo opuesto un solo conglomerado. A la representación grafica anidada de las agrupaciones se les conoce como dendogramas, Berdegue (1990).

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron 14 cultivares de ajo colectados en las principales zonas productoras de los Departamentos de Cundinamarca y Nariño durante el primer semestre de 1990, los cuales fueron evaluados en el campo

en el Centro de Investigación del Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, "Tibaitatá" durante los semestres B de 1990 y A de 1991; los detalles sobre características agrológicas y ejecución de los experimentos los describe Ligarreto (1991).

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con 14 genotipos (Cuadro 1) y tres repeticiones en cada semestre. El material se sembró en parcelas constituidas por cinco surcos de un metro de largo, con distancias de 25 cm entre surcos y ocho cm entre plantas, para una población de 12 plantas por surco.

La evaluación morfo-agrónomica se realizó con base en caracteres estables al ambiente, es decir, en aquellos en que la expresión genética es poco afectada por el ambiente, Ligarreto (1991), Souza et al. (1978). Al respecto, a los 35 días de germinación se marcaron 19 plantas tomadas al azar, a las cuales se les evaluaron las siguientes variables de interés:

1. Forma de la lámina foliar, escala 1-9: 3, plana y 7, en v.

Cuadro 1. Materiales de ajo evaluados en los semestres 1990 B y 1991 A en el C.I. Tibaitatá.

Número Cultivar	Cultivar	Procedencia
1	Costa Rica	(CR) Nariño - 1990 A
2	Chileno Rojo	(CR) Nariño - 1990 A
3	Morado Claro	(ML) Nariño - 1990 A
4	Peruano	(P) Nariño - 1990 A
5	Chileno Blanco	(CB) Nariño - 1990 A
6	Arequipa	(A) Nariño - 1990 A
7	Morado Pequeño	(MP) Nariño - 1990 A
8	Ronsuno	(R) Sabana de Bogotá 1990 A
9	Criollo Rosado	(CL) Sabana de Bogotá 1990 A
10	Blanco (Sabana)	(B) Sabana de Bogotá 1990 A
11	Roseño Morado	(RM) Sabana de Bogotá 1990 A
12	Industrial	(I) Desconocido-1990 A
13	Criollo	(C) CI Tibaitatá-1990 A
14	Morado Criollo	(MC) CI Tibaitatá-1990

2. Ancho de la hoja, escala 1-9: 3, angosta (menor de 1 cm), 5, media (1-1.5 cm) y 7, ancha (mayor de 1.5 cm).
3. Inserción de las hojas en el pseudotallo, escala: 3, postrada, 5, semipostrada y 7, erecta.
4. Reacción a marchitez de las puntas de las hojas, causada por *Sclerotium cepivorum* Berk, medida a los 120 días de emergencia, se utilizó la escala 1-5: 1, sin sintoma, 5, muy susceptibles mayor del 20% de las hojas con puntas afectadas.
5. Reacción a pudriciones causadas por *Fusarium oxysporum* clasificación en porcentaje de plantas por parcela con daños de amarillamiento y/o muerte de hojas, a los 120 días de emergencia.
6. Reacción al ataque de trips, escala 1-9, sin daño, 9, más del 40% de plantas afectadas en el momento del daño (90 días).
7. Uniformidad del cultivo, escala 1-5: 1, muy uniforme, 5, desuniforme.
8. Altura de planta en el momento de la cosecha (cm).
9. Número de túnicas retenidas o envoltentes del bulbo.
10. Uniformidad del bulbo, escala 1-5, uniforme, 3, irregular.
11. Color de la túnica del bulbo (Munsell (7)), escala: 1, blanca, 3, amarilla, 5, rosada, 7, morada y 9, combinaciones.
12. Color de la hoja protectora de los dientes (Munsell (7)).
13. Peso de dientes de tamaño A (8 por 17 mm) por bulbo (g).

14. Peso de dientes de tamaño B (entre 8x17 y 5x15 mm) por bulbo.

15. Peso promedio de semilla (diente A + dientes B).

16. Peso promedio de semilla A.

17. Porcentaje de semilla A.

18. Porcentaje de semilla B.

19. Porcentaje del peso de la semilla B.

Mediante el Procedimiento CANDIS del paquete estadístico SAS, se estimaron las distancias cuadradas de Mahalanobis, SAS Institute (1987). Obtenidas las distancias, se procedió, mediante el método conglomerado de enlace simple, a establecer un dendograma para la agrupación de los genotipos de ajo, Jonson y Wichern (1988).

El método de enlace simple toma la menor distancia entre dos puntos, uno en cada grupo, y une en cada paso (nivel jerárquico) los grupos con menores distancias. Con estos elementos se identifican los grupos de cultivares.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los análisis de varianza presentaron diferencias altamente significativas entre los cultivares para todas las variables estudiadas. Las pruebas estadísticas multivariadas y la aproximación F, por el criterio de Wilk's lambda, revelaron diferencias altamente significantes entre cultivares para conjunto de todos los caracteres (aproximadamente $F=2.7012$, Grados de Libertad=247).

Los 14 genotipos se agruparon en tres conjuntos sobre la base de los valores D^2 (Figura 1; Cuadro 2). Los grupos uno y dos están compuestos por dos variedades, mientras el grupo tres está conformado por

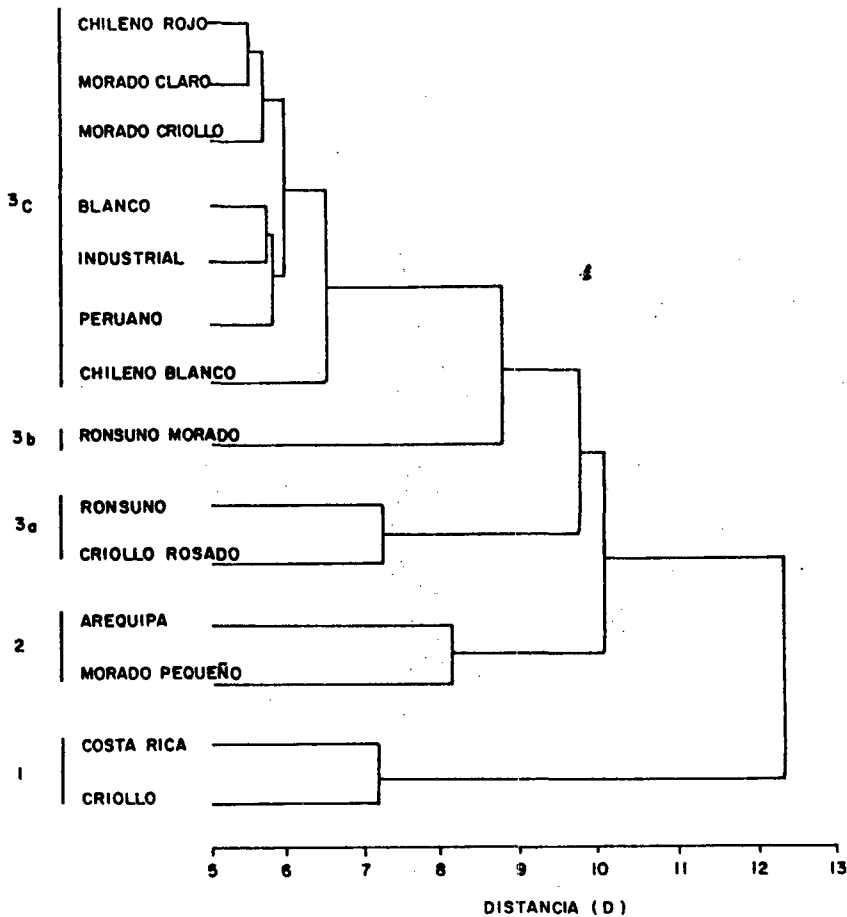


Figura 1. Dendrograma de 14 genotipos de ajo, basados sobre promedios de 19 variables

las diez variedades restantes. Las máximas distancias fueron entre el grupo uno, genotipo Costa Rica (CR) y grupo tres genotipo Ronsuno morado (RM), grupo uno Criollo (C) y grupo tres Peruano (P), le sigue la distancia entre los grupos uno Criollo y grupo dos Arequipa (A), (Cuadro 2). El grupo tres con mayor número de genotipos presentó la mayor variación.

La figura 1 muestra el dendrograma de los 14 cultivares evaluados, obtenido a partir de las distancias de Mahalanobis para cada par de genotipos. Al observar esta figura y

tomando como criterio de clasificación los grupos de cultivares con distancias menores a 9 unidades, se identificaron los siguientes tres grupos:

Grupo uno, constituido por los genotipos Costa Rica y Criollo que comparten entre sí una distancia de 7.25 unidades de Mahalanobis y son los más lejanos genéticamente, con 12.3 unidades (D), en relación a los demás grupos de cultivares; poseen hojas con láminas angostas (1 cm de ancho), de forma en v y con ángulo de inserción de 45° aproximados sobre el

seudotallo y tolerantes al marchitamiento de las puntas de las hojas causado por *Sclerotium cepivorum* Berk y a pudriciones de raíces (*Fusarium oxysporum* Schlecht) y susceptibles a daños causados por trips. Las plantas presentaron altura promedio de 57 cm, con los bulbos casi siempre sin túnica envolvente o con solo una túnica, de tal forma que los dientes quedan descubiertos y se separan del tallo y eje floral con facilidad. El 34.5% de los dientes fueron de tamaño superior a 8 por 17 mm, el 36.6% de 5 por 15 mm y el 29% de los dientes restantes son de menor tamaño y la túnica del bulbo es color morada y la del diente es de color blanco con estrias moradas (Cuadro 2).

El grupo dos lo integran los genotipos Arequipa (A) y Morado Pequeño (MP), con 8.12 unidades D entre sí y distante del grupo 3 en 9.9. unidades y son plantas de porte bajo con 38 cm de altura promedio, de hojas angostas (1 cm), erectas y de lámina plana las plantas son susceptibles a pudriciones de raíces (*Fusarium oxysporum* Schlecht). con bulbos de color rosado, cubiertos por túnicas envolventes y el 68.7% de sus dientes fueron de tamaño A (8 x 17 mm), los cuales alcanzaron un peso de 21.7 gramos/bulbo, (Cuadro 2).

El grupo tres involucra a los 10 genotipos restantes que poseen distancias entre 5.48 y 8.73 unidades (D) y son genotipos de bulbo "gigante" de buen desarrollo vegetativo, con pseudotallo grueso, por lo general, superior a 1 cm de diámetro, hojas erectas y anchas de lámina plana y la planta alcanza 51.2 cm de altura y los bulbos son en forma ovalada y cubiertos por más de 4 túnicas. En el Cuadro 2, se aprecia que el 68.4% de los dientes son de tamaño de 8 x 17 mm y llegan a pesar 25.5 g/bulbo. Este conjunto de 10 variedades corresponde a los grupos 3 y 4 del análisis canónico descrito por Ligarreto (1991) so-

bre estos mismos genotipos. De las diferencias en las distancias de los genotipos de este grupo, aparece la formulación de los siguientes subgrupos:

3a. Incluye los ajos Ronsuno y Morado Claro (CL), los cuales comparten distancia de 7. 28 unidades D. Se caracterizan por poseer bulbos grandes "gigantes", ovoides y uniformes y plantas vigorosas y de periodo vegetativo tardío (170 a 180 días) y se cultivan, principalmente, en la Sabana de Bogotá.

3b. Ajo Ronseño Morado (RM). Tiene características vegetativas similares a las del subgrupo a, excepto que posee bulbos y bulbillos un poco más pequeños.

3c. Conformado por ajos de posible origen chileno y peruano y se encuentran estrechamente relacionados, al compartir distancias inferiores a 6.5 unidades D, poseen bulbos de formas circulares u ovoides y uniformes, por lo general, son más precoces y con dientes o bulbillos de menor tamaño que los cultivares del subgrupo a.

La virtud de los resultados muestra que hay diferencias en las distancias genéticas entre los cultivares de ajo, lo cual permitió establecer la existencia de alta variabilidad en la colección estudiada, que a la vez, constituye una buena fuente básica para futuros trabajos de mejoramiento en ajo.

LITERATURA CITADA

1. Anderson, E, A semigraphical method for the analysis of complex problems. *Technometrics* 2: 387-391. 1960.
2. Berdegue, J.A.; O. Sotomayor y C. Zilleruelo. Metodología de tificación y clasificación de sistemas de producción campesinos de la provincia de Ñubie, Chile. En: Tipificación de sistemas de producción agrícola. RIMISP. Santiago de Chile, Sep. 1990. p. 85-117. 1990.

Cuadro 2. Promedios de grupos genéticos para 19 caracteres evaluados en la colección de ajo. CI Tibaitatá, 1990-91.

Variable	Grupos genéticos 1/			
	1	2	3	
X1	Forma de la hoja	7,33	4,25	4,22
X2	Ancho de la hoja	4,00	4,83	6,45
X3	Inserción de hojas	4,66	7,66	7,52
X4	Reacción march. hoja	0,79	2,17	1,45
X5	Reacción a pudriciones	6,58	18,42	10,19
X6	Reacción a trips	5,75	5,00	3,86
X7	Uniformidad de cultivo	2,25	3,25	2,01
X8	Altura a cosecha	57,09	38,60	51,23
X9	Cutículas retenidas	1,30	2,85	4,25
X10	Uniformidad del bulbo	1,25	2,42	2,82
X11	Color túnica bulbo	6,58	4,83	5,30
X12	Color hoja diente	7,00	4,67	5,66
X13	Peso dientes A	14,21	21,66	25,48
X14	Peso dientes B	8,20	7,85	8,17
X15	Peso promedio semilla	1,43	2,04	2,00
X16	Peso promedio diente A	1,70	2,02	2,22
X17	Porcentaje de diente A	34,45	68,71	68,42
X18	Porcentaje de diente B	36,63	31,29	31,58
X19	% peso dientes B	32,97	30,21	25,74

1/Varietades Grupo 1 : CR, C. Grupo 2: A, MP.

Grupo 3: CH, CB, ML, P, R, CI, B, RM, I, MC.

NOTA: Las abreviaturas se definen en la tabla 1.

3. Goodman, M.M. The races of maize. I. The use of Mahalanobis generalized distances to measure morphological similarity. *Fitotecnia Latinoamericana* 4: 1-22. 1967.
4. Johnson, R.A. y D. W. Wichern. *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice-Hall, Inc. N.J. 607 p. 1988.
5. Ligarreto, G.A. Caracterización morfoagronómica y electroforética de cultivares de ajo (*Allium sativum* L.). Tesis M. S. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 100 p. 1991.
6. Martínez, O.J.; M.M. Goodman y D.H. Timothy. Measuring racial differentiation in maize using multivariate measures standardized by variation in F2 populations. *Crop Science*, Vol 23, p. 775-781. 1983.
7. Munsell, A.R. *Munsell book of color*. Kallmargen, Newborg, N.Y. 2v. 1966.
8. Sachan, K.S. y J.R. Sharma. Multivariate analysis of genetic divergence in tomato. *Indian J. of Genet. and plant breeding*, 31 (1): 86-93. 1971.
9. Sánchez, J.J. Relationships among the Mexican races of maize. Raleigh. North Carolina State University. Ph. D. Thesis. 198 p. 1989.
10. SAS Institute, Inc. *Stat guide for personal computers*. Version 6 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC. 1027 p. 1987.
11. Souza, R.J.; M.H. Mascarenhas; N.M. Saturnino y J.F. Lara. Caracteres morfológicos de 18 cultivares de alho. En: *Alho resumos informativos*. EMBRAPA, Brasília, 1979, 90p. 1978.
12. Vera, R. Geographical groups of *Eleusine coracana* and their relation with yield by using principal components and canonical variate analysis. Raleigh. N. Carolina state University. M.S. Thesis. 72 p. 1982.