

## CARACTERIZACIÓN DE FRIJOL DE LA VARIEDAD BAYOMEX MEDIANTE DESCRIP- TORES AGRONÓMICOS Y ANÁLISIS DE IMÁGENES DE MORFOLOGÍA DE SEMILLAS

### CHARACTERIZATION OF COMMON BEAN TYPES CV BAYOMEX USING AGRONOMIC DESCRIPTORS AND IMAGE ANALYSES OF SEED MORPHOLOGY

Gabino García de los Santos y Julio Arturo Estrada Gómez<sup>1</sup>

#### RESUMEN

La caracterización y discriminación de semillas mediante procedimientos tradicionales se considera como un método cualitativo y muy laborioso que se complica aún más cuando existe mayor similitud entre los materiales genéticos. Con el propósito de complementar dicha actividad, en este trabajo se describe y aplica una técnica modificada de procesamiento de imágenes de semilla como herramienta adicional para caracterizar familias de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de la variedad Bayomex, al mismo tiempo que se compara con descriptores agronómicos. Los descriptores evaluados en las imágenes de semillas fueron: área, perímetro, longitud, anchura, ángulo de la semilla, elongación y factor forma de la semilla. Mediante análisis multivariados de factores y de agrupamiento, se determinó que de los siete descriptores evaluados, sólo área, perímetro, longitud, anchura, y ángulo podrían utilizarse en futuros trabajos de caracterización y discriminación de tipos contrastantes de semilla de frijol; al mismo tiempo que se determinaron las similitudes entre las familias, obteniéndose cuatro grupos distintos.

#### PALABRAS CLAVE ADICIONALES

*Phaseolus vulgaris* L., caracteres agronómicos, descriptores morfológicos, germoplasma.

#### SUMMARY

Traditional discrimination and characterization of seeds is considered as a qualitative and very laborious method, which sometimes becomes complicated when similarity among germplasm is high. In order to facili-

tate this activity, a modified image processing system is described to complement discrimination of different common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) types cv Bayomex. Computed seed features included area, perimeter, length, width, angle, elongation and factor form. Agronomic and image descriptors were then compared. It was concluded that only area, perimeter, length, width, and angle would have the potential for use as descriptors for characterization of common bean genotypes. Factor and cluster analysis were applied to visualize bean types differences and four interpretive groups were defined according to the variables included.

#### ADDITIONAL INDEX WORDS

*Phaseolus vulgaris* L., agronomical descriptors, morphological descriptors, germplasm.

#### INTRODUCCIÓN

En los programas de mejoramiento genético además de la formación de materiales con características agronómicas deseables, también es un objetivo la incorporación de atributos de interés en la producción de semillas. En este último caso, es importante la caracterización precisa usando descriptores morfológicos de semillas, que se relacionan directamente con su calidad como son, tamaño, peso, y forma de semilla, entre otros. En cualquier caso, ello implica con frecuencia, la evaluación de un buen número de variables en plantas completas y en semillas, en campo, invernadero y en laboratorio; situación que se complica en el caso de mediciones morfológicas en semillas pequeñas,

<sup>1</sup> Especialidad de Producción de Semillas. IREGEP. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México C.P. 56230 Tel. 01(595) 2-0200 Ext. 1555 Fax. 01(595) 2-0262

que son difíciles de manipular y consume mucho tiempo.

La identificación y caracterización de variedades es un aspecto clave, que se involucra en varias de las etapas del sistema de producción y comercio de semillas. Así, se considera que una buena caracterización es importante para el éxito de los programas nacionales de certificación de semillas en todas sus etapas (Keefe and Draper, 1986).

En la certificación de semillas, la verificación de la pureza varietal de los lotes se hace tradicionalmente usando los registros de generaciones sucesivas y la inspección en campo de parcelas testigo. Esto se complementa con la inspección visual de muestras de semillas en el laboratorio, proceso que es muy tedioso y tardado (Travis y Draper, 1985).

Actualmente, para evaluar la calidad de semillas se utilizan métodos de laboratorio, como las pruebas de pureza física y de germinación, las que se basan en observaciones visuales directas hechas por personal bien entrenado (International Seed Testing Association, 1985).

La discriminación tradicional de semillas mediante observación visual se considera como un método cualitativo y depende de la habilidad del analista y del tipo de semilla en cuestión (Sakai y Yonekawa, 1991). El procesamiento electrónico de imágenes de semillas ofrece la posibilidad de complementar dicha actividad, pues se puede aplicar tanto en semillas como en plántulas, con la posibilidad de obtener información de varios parámetros que tienen que ver con el control de calidad en semillas (Travis y Draper, 1985).

El procesamiento digital de imágenes es un método cuantitativo y rápido que complementa a los métodos tradicionales de caracterización de germoplasma (análisis morfológicos, fisiológicos y citológicos), y los modernos (análisis de proteínas y ADN) que actualmente se usan,

ya que se pueden analizar en detalle, un buen número de muestras de semillas (Myers, 1992).

Mediante el análisis de imágenes, auxiliados por una computadora, un programa de procesamiento de imágenes y otros accesorios electrónicos, se pueden evaluar las características en semillas de manera más precisa y en menor tiempo (Linskens y Jackson, 1992; Baum y Bailey, 1987). Los análisis de imágenes fueron inicialmente utilizados para reconocer y discriminar semillas (Berlag *et al.*, 1984), usando equipo muy complicado y caro que constaba de una cámara de video, una computadora y programas estadísticos escritos en lenguaje FORTRAN, para la extracción de los parámetros de las imágenes (Sakai y Yonekawa, 1991). En la actualidad, con la introducción al mercado de nuevo equipo electrónico como son los digitalizadores de imágenes ("escaners"), el proceso se ha simplificado, aunque en algunas publicaciones todavía se informa el uso de la cámara de video.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar y seleccionar familias de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad Bayomex con características deseables para la producción de semillas, mediante el uso de descriptores agronómicos y descriptores morfológicos obtenidos de imágenes de semillas, bajo la hipótesis de que los descriptores provenientes de imágenes de semillas al estar correlacionados con descriptores agronómicos, son útiles en la caracterización y discriminación de familias de frijol.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Experimento en campo

En el presente trabajo se incluyeron 45 familias F<sub>7</sub> de frijol que han sido seleccionadas durante varios ciclos por características típicas de la variedad Bayomex. El experimento se esta-

bleció durante el ciclo primavera verano de 1997 en Montecillo, Méx., ubicado en los 19° 29' latitud Norte y 98° 51' longitud Oeste y a 2250 msnm. La siembra de las familias se realizó con riego el 4 de junio, y el cultivo se manejó como un cultivo comercial. La población final en cada familia fue de 51 plantas por surco. Durante el ciclo se hicieron dos cultivos y algunas depuraciones de plantas fuera de tipo para asegurar la pureza varietal. El experimento se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de tres surcos de 5 m de largo. La cosecha se hizo seleccionando en el surco central, cinco plantas típicas de la variedad con competencia completa, en las cuales se evaluaron los descriptores agronómicos (primer grupo): Número total de vainas (NTV), Número total de semillas (NTS), Peso total de semillas (PTS), Número promedio de vainas por planta (VPP), Peso promedio de semilla individual (PPSI), Número promedio de semillas por vaina (SPV) y Peso de 100 semillas (PCS).

### Análisis de imágenes

La técnica aquí descrita, es una modificación a la utilizada por otros investigadores, en donde el "escaner" sustituye a la cámara de video y también la iluminación; adicionalmente también permite hacer mediciones cuantitativas de tamaño y forma de semilla de una manera rápida.

La semilla cosechada de cada una de las 45 familias típicas de la variedad Bayomex se trilló y limpió manteniendo la variación de tamaños de semilla en cada una. Se usaron cuatro repeticiones de 100 semillas tomadas al azar por familia. Para el análisis de imágenes se usó un "escaner" a color marca Epson modelo ES-1000C, una computadora Power Macintosh 7200/120 y el programa de procesamiento de imágenes NHI (National Institute of Health, Bethesda, MD). Las semillas se "escanearon"

por repetición obteniéndose las imágenes respectivas, que posteriormente se guardaron en el disco duro de la computadora y se procesaron mediante el programa de cómputo indicado. Los descriptores que constituyeron el segundo grupo (Figura 1) fueron: área, perímetro, longitud (eje mayor), anchura (eje menor), ángulo, elongación (longitud/anchura) y factor forma ( $4\pi \text{ área/perímetro}^2$ ), que es una medida cuantitativa del grado de redondez (Zayas *et al.*, 1985; Linskens y Jackson, 1992).

### Análisis estadístico

Dentro de cada uno de los grupos de descriptores se calcularon parámetros estadísticos descriptivos. Se realizaron análisis multivariados de factores y se identificaron variables independientes, con las cuales se hizo el análisis de agrupamiento para determinar la relación entre las 45 familias. La afinidad mostrada entre las familias, así como su ubicación en un determinado grupo, se evaluó mediante un análisis de varianza. Se calculó una matriz general de correlaciones que incluyó conjuntamente los descriptores de los dos grupos. Se evaluó el grado de correspondencia global entre los dos grupos de descriptores mediante una comparación de matrices independientes, utilizando la prueba de Mantel (Mantel, 1967).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variación en los descriptores

Valores promedios, máximos y mínimos y coeficientes de variación de los dos grupos de descriptores se presentan en los Cuadros 1 y 2, respectivamente. De los descriptores agronómicos evaluados (Cuadro 1), se observó que el peso de cien semillas, el peso promedio de semilla individual y número promedio de semillas por vaina fueron los caracteres que menor variación mostraron (6-8%); mientras que el peso

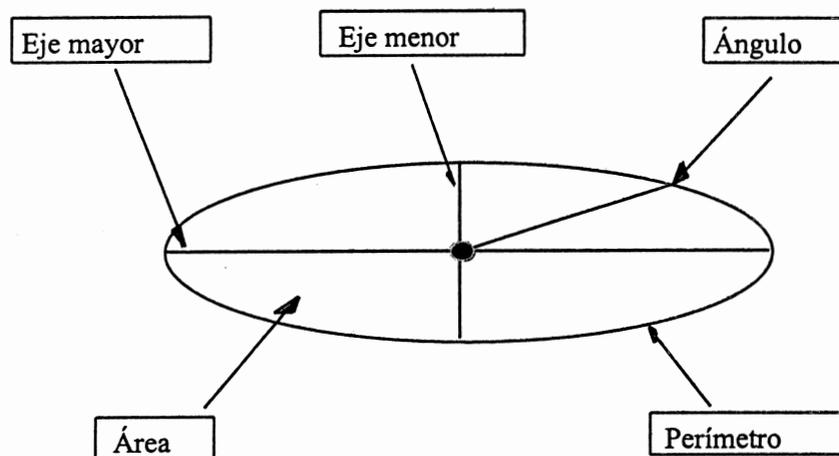


Figura 1. Descriptores obtenidos del procesamiento de imágenes.

Fuente: Linskens y Jackson (1992).

Cuadro 1. Valores promedio, máximo, mínimo y coeficientes de variación en descriptores agronómicos de frijol variedad Bayomex. Montecillo, Méx., 1997.

Descriptor	V a l o r e s			
	Promedio	Máximo	Mínimo	Coefficiente de variación (%)
Peso de 100 semillas (g)	41.4	46.4	36.8	6.0
No. total de vainas <sup>1</sup>	161.1	209.0	109.0	16.4
No. total de semillas <sup>1</sup>	512.9	685.0	331.0	17.5
Peso total de semillas (g) <sup>1</sup>	213.2	286.0	150.0	18.5
No. promedio de semillas por vaina	3.2	4.1	2.6	8.4
Peso promedio de semilla individual (g)	0.4	0.5	0.3	7.6
No. promedio de vainas por planta	32.2	41.8	21.8	16.4

<sup>1</sup> de cinco plantas con competencia completa.

Cuadro 2. Promedios, valor máximo y mínimo y coeficientes de variación de descriptores provenientes de las imágenes de semillas de frijol variedad Bayomex. Montecillo, Méx., 1997.

Descriptor	V a l o r e s			
	Promedio	Máximo	Mínimo	Coefficiente de variación (%)
Área (cm <sup>2</sup> )	0.3	0.4	0.3	6.7
Perímetro (cm)	3.4	3.9	3.1	4.0
Longitud (cm)	1.2	1.4	1.1	4.1
Anchura (cm)	0.9	1.0	0.8	3.9
Ángulo	246.9	286.0	114.9	14.8
Elongación (cm)	1.3	1.4	1.3	1.9
Factor forma	0.3	0.3	0.3	2.6

Cuadro 3. Caracterización de familias de frijol variedad Bayomex por su valor promedio en los descriptores agronómicos. Montecillo, Méx., 1997.

F PCS (g)	F NTV (No.)	F NTS (No.)	F PTS (g)	F SPV (No.)	F PPSI (g)	F VPP (No.)
3 (43.1)	3 (205)	2 (606)	2 (269)	2 (3.35)	2 (0.44)	3 (41.0)
4 (44.1)	6 (195)	3 (685)	8 (255)	3 (3.34)	6 (0.46)	6 (39.0)
5 (43.9)	8 (204)	6 (602)	13(267)	5 (4.05)	8 (0.44)	8 (40.8)
6 (44.1)	21(189)	9 (670)	23(263)	7 (3.48)	10(0.45)	21(37.8)
9 (45.2)	23(190)	13(645)	24(283)	9 (3.96)	14(0.44)	23(38.0)
14(46.4)	24(209)	23(600)	33(260)	13(3.51)	28(0.47)	24(41.8)
28(46.2)	32(190)	24(661)	41(256)	16(3.37)	31(0.45)	32(38.0)
33(44.6)	33(194)	30(586)	42(257)	30(3.49)	33(0.45)	33(38.8)
42(45.1)	44(207)	44(659)	44(254)	38(3.37)	42(0.45)	44(41.4)
45(45.2)	45(200)	45(624)	45(286)	42(3.42)	45(0.46)	45(40.0)
1 (37.9)	1(130)	10(331)	10(150)	8(2.82)	3(0.37)	10(25.2)
17(37.2)	10(126)	14(410)	20(158)	10(2.63)	5(0.37)	12(25.8)
18(37.0)	35(131)	20(381)	35(157)	25(2.85)	9(0.33)	20(25.0)
34(36.8)	38(126)	35(401)	38(161)	28(2.85)	17(0.37)	38(25.2)
39(38.3)	43(109)	43(359)	43(152)	36(2.78)	34(0.35)	43(21.8)

F=Familia; PCS=Peso de cien semillas; NTV=Número total de vainas; NTS=Número total de semillas; PTS=Peso total de semillas; SPV=Número promedio de semillas por vaina; PPSI=Peso promedio de semilla individual; VPP=Número promedio de vainas por planta.

total de semillas tuvo el coeficiente de variación más alto (19%). El peso de cien semillas, es un carácter muy confiable que con frecuencia se incluye en estudios de descripción de genotipos en donde se involucran características de semilla.

Por otro lado, los descriptores: elongación, factor forma y anchura mostraron los coeficientes de variación más bajos (1.4-4.0%) y, ángulo de la semilla presentó una variación mucho más alta (15%) (Cuadro 2).

Las diferencias observadas en los coeficientes de variación de los descriptores de morfología de semillas permiten discriminar y seleccionar los más estables y confiables para su posible inclusión en estudios similares de morfología o identificación de semillas. Tendencias similares han sido encontradas en soya según Sakai y Yonekawa (1991) e Illipronti *et al.* (1997).

Por mucho tiempo, varios investigadores, principalmente taxónomos, han estudiado el problema de la descripción de la forma de estructuras biológicas. Como resultado, se han publicado listas muy completas de caracteres que describen la forma de la semilla (Systematics Association Committee for Descriptive Biological Terminology, 1962). Actualmente hay consenso en que la relación entre longitud y anchura de semilla es un descriptor importante y popular que ha sido utilizado en varios estudios sobre identificación de semillas. Sin embargo, las evaluaciones visuales de semilla son, con frecuencia, subjetivas y muy laboriosas (Sakai y Yonekawa, 1991).

### Variación entre familias

Las familias de frijol de la variedad Bayomex mostraron un comportamiento diferente en sus promedios para los descriptores agronómicos (Cuadro 3), así como en los coeficientes de variación provenientes de las imágenes de semilla (Cuadro 4).

Se observaron diferencias más contrastantes para familias y descriptores (Cuadro 3), indicando que por ejemplo las familias 14, 9, 45 y 42, podrían ser agrupadas por mayor peso de cien semillas, o cualquier otra característica dependiendo del interés en vaina o semilla. En contraste, en los descriptores de imágenes de semillas (Cuadro 4), las 10 familias sobresalientes presentaron promedios en algunos casos muy similares; no obstante, fue posible diferenciar grupos distintos de familias como se indica en las Figuras 2 y 3. Este hecho se explica por las diferencias específicas en morfología de semilla que poseen las familias y que fueron detectadas mediante la técnica de análisis de imágenes. De acuerdo con la información que se presenta en el Cuadro 4, las familias pueden agruparse y seleccionarse por sus características específicas. Por ejemplo, aunque en general los promedios en todos los descriptores son muy uniformes, si el objetivo fuese seleccionar familias con una mayor área, longitud, y anchura de semilla, sólo se tomarían en cuenta a las familias 5 y 9. Los coeficientes de variación se considerarían como otro criterio; por consiguiente, para algunas familias y tomando en cuenta ciertos descriptores, se podrían combinar promedios y coeficientes de variación. Por ejemplo para la familia 5, que presentó la mayor longitud de semilla (1.38 cm) y también un coeficiente de variación bajo (5.7%), lo que indica que es un material muy uniforme y de tamaño de semilla más grande.

De acuerdo con la información de los Cuadros 3 y 4, es factible identificar algunas familias que reúnan un determinado perfil de caracterización dependiendo del interés en atributos específicos que se relacionan con producción y tecnología de semillas; los que posteriormente se considerarían en programas de mejoramiento, descripción o para registro de variedades.

Dado que la semilla en las diferentes familias fue muy uniforme, hubiera resultado difícil detectar a simple vista diferencias en sus características morfológicas. La técnica que se

Cuadro 4. Caracterización de diez familias de frijol variedad Bayomex con valores superiores en descriptores de imágenes de morfología de semilla, Montecillo, Méx., 1997.

Área (cm <sup>2</sup> )			Perímetro (cm)			Longitud (cm)			Anchura (cm)			Factor forma		
F	$\bar{X}$	C.V.	F	$\bar{X}$	C.V.	F	$\bar{X}$	C.V.	F	$\bar{X}$	C.V.	F	$\bar{X}$	C.V.
5	(0.38)	(10.6)	4	(3.49)	(13.1)	5	(1.38)	(5.7)	5	(1.02)	(6.5)	3	(0.33)	(11.6)
6	(0.31)	(11.0)	5	(3.96)	(4.6)	6	(1.20)	(5.6)	9	(0.95)	(7.4)	6	(0.33)	(8.8)
9	(0.33)	(15.1)	6	(3.45)	(6.2)	8	(1.21)	(6.4)	14	(0.89)	(7.8)	10	(0.33)	(6.7)
10	(0.31)	(14.5)	9	(3.61)	(7.8)	9	(1.22)	(6.8)	21	(0.90)	(6.0)	11	(0.33)	(7.7)
14	(0.30)	(15.0)	14	(3.50)	(10.4)	10	(1.20)	(6.7)	28	(0.91)	(6.7)	13	(0.33)	(7.5)
28	(0.30)	(14.6)	21	(3.44)	(9.4)	14	(1.18)	(6.8)	33	(0.88)	(6.6)	16	(0.34)	(5.9)
33	(0.30)	(14.9)	28	(3.57)	(9.7)	28	(1.21)	(6.9)	39	(0.89)	(5.0)	20	(0.34)	(9.1)
40	(0.31)	(10.9)	33	(3.52)	(10.2)	33	(1.21)	(6.6)	40	(0.89)	(4.8)	24	(0.33)	(11.2)
42	(0.30)	(13.2)	42	(3.50)	(11.5)	40	(1.19)	(5.4)	42	(0.89)	(6.1)	40	(0.33)	(6.0)
45	(0.30)	(13.4)	45	(3.49)	(10.7)	45	(1.18)	(6.9)	45	(0.89)	(5.9)	44	(0.33)	(14.9)

F = Familia;  $\bar{X}$  = Promedio; C.V. = Coeficiente de variación.

utilizó es cuantitativa, y permitió detectar esa pequeña variación en morfología de semilla que caracterizó a las familias. Estos resultados concuerdan con lo informado por Puecher *et al.* (1996), quienes señalan que en muchas especies el color, forma, y longitud de semilla se ha utilizado para revelar importantes diferencias entre genotipos.

### Agrupamiento de familias

Como resultado del análisis de factores, la cantidad de variables se redujo a un número selecto de descriptores no colineales que contribuyeron a explicar la variación en las familias de manera independiente. Éstos se usaron posteriormente en los análisis de agrupamiento.

Los descriptores de imágenes de semilla seleccionados del análisis de factores fueron: área, perímetro, longitud, anchura y ángulo de semilla, que explicaron 62.2 % de la variación presente en las familias; mientras que los descriptores agronómicos fueron: peso total de semillas, número total de semillas, número total de vainas, número promedio de vainas por planta y peso de 100 semillas, explicando 58.8 %.

Mediante el análisis de conglomerados se identificaron cuatro grupos diferentes de familias utilizando los descriptores agronómicos (Figura 2) y los descriptores de imágenes de semilla (Figura 3). Los puntos negros que se indican en estas figuras representan a las familias que coincidieron en el mismo grupo, resaltándose de esta manera, el grado de asociación que hubo entre los dos grupos de descriptores; indicando que la discriminación de semillas mediante el análisis de imágenes es factible.

El número óptimo de grupos y la ubicación de las familias en ellos se determinó mediante la observación de los dendrogramas que se obtuvieron (no presentados). Mediante análisis de varianza se determinó la significancia de cada

descriptor que intervino en la separación de los cuatro grupos, utilizando el número de ellos como fuente de variación.

Se observó que el peso de 100 semillas, número promedio de semillas por vaina, perímetro, anchura, y factor forma (Cuadro 5), no fueron caracteres importantes (no significativos) para la separación de las 45 familias en los cuatro grupos que se indican en las Figuras 2 y 3, respectivamente. Aunque ya se indicó que el peso de cien semillas puede ser un carácter importante en términos de variación y estabilidad, la no significancia mostrada en la discriminación de los cuatro grupos puede deberse a que los valores promedios entre las familias fueron muy cercanos y también, a que el tamaño de muestra de las cien semillas no es suficientemente grande para detectar diferencias entre las familias de frijol. En parte, esta aseveración es apoyada por el hecho de haber encontrado significancia (51.5 \*\*\*) en la variable peso total de semillas (Cuadro 5). Algunos investigadores han utilizado 800 y hasta 1000 semillas para expresar la variable peso de semillas.

### Correlación de descriptores

Por considerar que las correlaciones entre descriptores de una misma clase no son muy informativas, ya que sólo confirman la sospecha de la existencia de asociación, como por ejemplo de la relación existente entre el peso de 100 semillas y el peso total de semillas; por tal motivo sólo se presentan y discuten los coeficientes de correlación entre distintos tipos de descriptores (Cuadro 6).

Descriptores agronómicos como peso de cien semillas y peso promedio de semilla individual se asociaron positivamente con descriptores de imágenes de semilla como área, perímetro, longitud y anchura, con valores de  $r$  desde 0.29 hasta 0.64 (significancia de 0.05 y 0.01 respectivamente). Este tipo de asociaciones son por lo general de mayor interés, pues validan como en

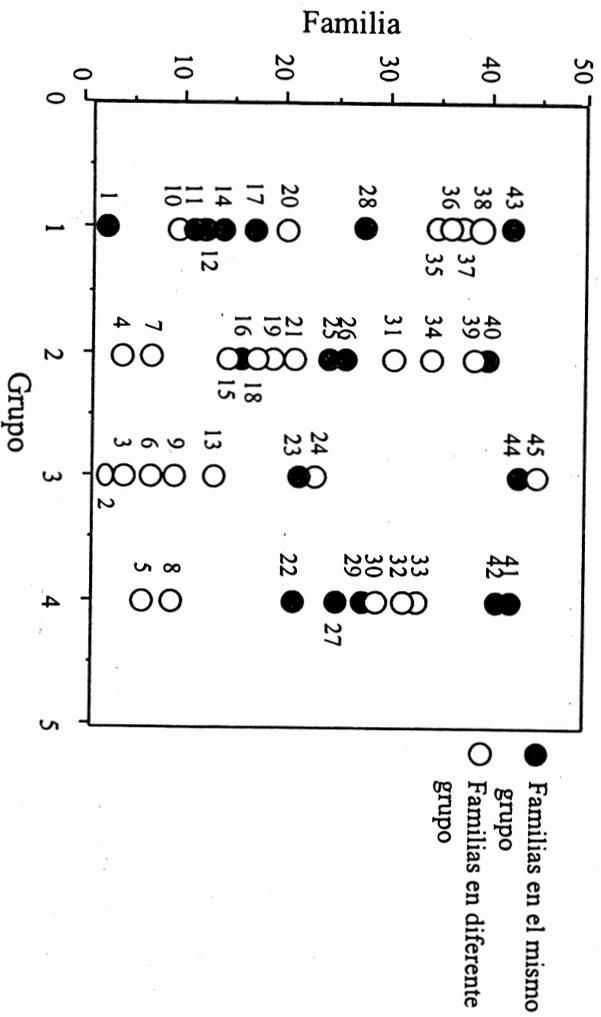


Figura 2. Agrupamiento de las 45 familias de frijol de la variedad Bayomex para descriptores agronómicos no colineales. Montecillo, Méx., 1997.

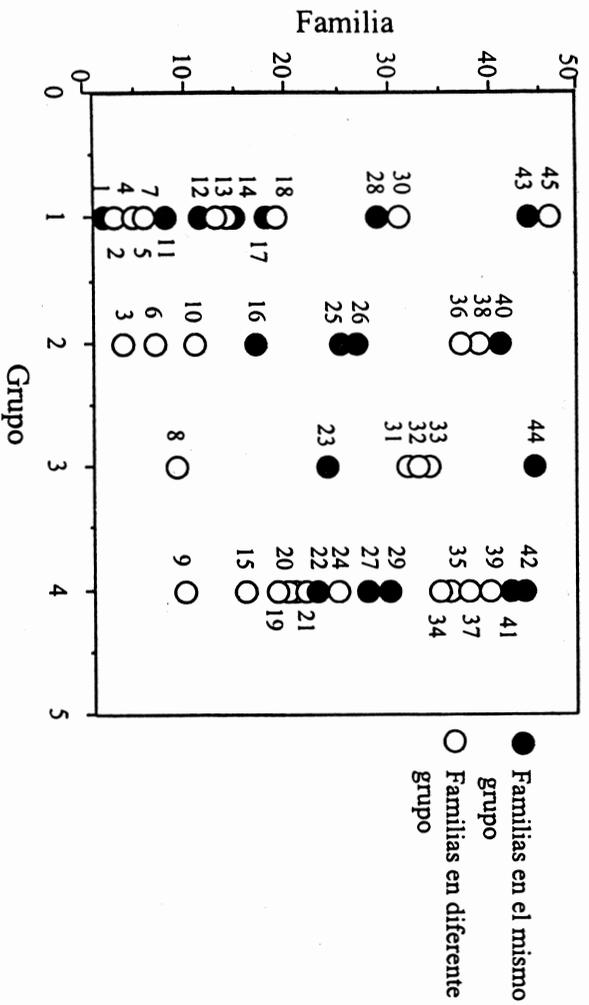


Figura 3. Agrupamiento de las 45 familias de frijol variedad Bayomex para descriptores de imágenes de semillas no colineales. Montecillo, Méx., 1997.

Cuadro 5. Significancia estadística en los descriptores agronómicos y de imágenes de semilla, que identificaron los cuatro grupos en las familias de frijol variedad Bayomex. Montecillo, Méx., 1997.

Descriptor	Valor de F	Descriptor	Valor de F
Peso de 100 semillas (g)	1.3 ns	Área	5.1 **
No. total de vainas	32.9 ***	Perímetro	0.7 ns
No. total de semillas	158.6 ***	Longitud	3.9 *
Peso total de semillas (g)	51.5 ***	Anchura	0.4 ns
No. promedio de semillas por vaina	2.1 ns	Ángulo	138.6 ***
Peso promedio de semilla individual (g)	2.8 *	Elongación	3.4 *
No. promedio de vainas por planta	32.9 ***	Factor forma	1.3 ns

\*, \*\*, \*\*\* diferencias significativas con  $P \leq 0.05$ ,  $P \leq 0.01$  y  $P \leq 0.001$ , respectivamente

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre descriptores de morfología de imágenes de semilla y descriptores agronómicos de frijol variedad Bayomex. Montecillo, Méx., 1997.

Descriptor	Descriptores de imágenes de semilla				
	Área	Perímetro	Longitud	Anchura	Ángulo
No. total de vainas	-0.08 ns	-0.01 ns	-0.02 ns	-0.12 ns	-0.48 **
No. total de semillas	-0.07 ns	0.03 ns	-0.01 ns	-0.05 ns	-0.31 *
Peso total de semillas	0.05 ns	0.17 ns	0.04 ns	0.05 ns	-0.31 *
No. promedio de semillas por vaina	-0.01 ns	0.07 ns	-0.01 ns	0.12 ns	0.31 *
Peso de 100 semillas	0.55 ***	0.64 ***	0.61 ***	0.61 ***	-0.09 ns
Peso promedio de semilla individual	0.32 *	0.37 **	0.39 **	0.29 *	-0.06 ns
No. promedio de vainas por planta	0.76 ns	0.07 ns	0.10 ns	0.01 ns	-0.49 ***

\*, \*\*, \*\*\* diferencias significativas con  $P \leq 0.05$ ,  $P \leq 0.01$  y  $P \leq 0.001$ , respectivamente.

este caso, la utilización de otros descriptores como los que se midieron mediante la técnica de imágenes. Por ejemplo la correlación del peso de 100 semillas con los descriptores de imágenes de semilla (Cuadro 6) sugiere que la descripción de la morfología de semillas podría hacerse indistintamente usando ya sea los descriptores de imágenes, o los descriptores agronómicos, sobre todo los que fueron menos variables. Asimismo, mediante estas asociaciones se resalta la importancia de los más específicos y de uso frecuente en morfología de semillas y caracterización, como es el caso del peso de cien semillas.

### Relación entre grupos de descriptores

Con el propósito de tener una idea global sobre la confiabilidad de la técnica empleada, para la descripción de genotipos, se generaron dos matrices simétricas independientes correspondientes a cada uno de los conjuntos de descriptores, se calcularon las distancias, y posteriormente se compararon mediante la prueba de Mantel (Mantel, 1967), usando el comando MXCOMP del programa NTSYS-pc versión 1.80 (Rohlf, 1993). Mediante esta prueba, fue posible conocer en forma conjunta, el grado de asociación ( $P \leq 0.05$ ) que existió entre los dos conjuntos de descriptores.

En general, el hecho de haberse encontrado una asociación positiva (Cuadro 6) entre descriptores agronómicos y descriptores provenientes de imágenes de semilla, entre pares de descriptores o mediante la comparación de matrices independientes (Mantel, 1967), sugiere la factibilidad del uso de métodos electrónicos cuantitativos en la caracterización e identificación de semillas.

### CONCLUSIONES

Los descriptores de imágenes de semilla más confiables fueron área, perímetro, longitud, anchura, y ángulo para discriminar y seleccio-

nar tipos contrastantes en morfología de semilla.

Con base en los dos tipos de descriptores, se identificaron cuatro grupos contrastantes de familias de frijol de la variedad Bayomex por sus características de semilla

### BIBLIOGRAFÍA

- Baum, B. R. and L. G. Bailey. 1987. A survey of endosperm starch granules in the genus *Hordeum*: a study using image analytic and numerical techniques. *Can. J. Bot.* 65:1563-1569.
- Berlag, A. G., T. M. Cooper, and R. A. Carone. 1984. Seed recognition potential of machine vision systems. *Transactions of the ASAE* 25: 345-348.
- Illipronti, Jr. R. A., C. J. Langerak, and W. J. M. Lommen. 1997. Variation and relationships between physical and physiological seed attributes within a soybean seed lot. *Seed Sci. & Technol.* 25:215-231.
- International Seed Testing Association 1985. International rules for seed testing. *Seed Sci. & Technol.* 13:299-355.
- Keefe, P. D. and S. R. Draper. 1986. The measurement of new characters for cultivar identification in wheat using machine vision. *Seed Sci & Technol.* 14:715-724.
- Linskens, N. F. and J. F. Jackson. 1992. *Seed analysis*. Springer-Verlag. Germany. 380 p.
- Mantel, N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Res.* 27:209-220.
- Myers, D. G. 1992. The discrimination of seeds by image processing. *In*: H. F. Linskens and J. F. Jackson (eds). *Seeds analysis*. Springer-Verlag. Germany. pp:315-332.
- Puecher, D. I., M. A. Ibañez, and M. A. Di Renzo. 1996. Classification and diversity values of seventeen cultivars of *Eragrostis curvula* (L). *Seed Sci. & Technol.* 24:139-149.

Rohlf, F. J. 1993. NTSYS-pc. Numerical taxonomy and multivariate analysis system. Version 1.80. Applied Biostatistics Inc., N. Y. 148 p.

Sakai, N. and S. Yonekawa. 1991. Three-dimensional image analysis of the shape of soybean seed. J. Food Engineer 15:221-234.

Systematics Association Committee for Descriptive Biological Terminology. 1962. Terminology of simple symmetrical plane shapes (chart 1). Taxon 11:145-156.

Travis, A. J. and S. R. Draper. 1985. A computer based system for the recognition of seed shape. Seed Sci. & Technol. 13:813-820

Zayas, I., Y. Pomeranz, and F. S. Lai. 1985. Discrimination between Arthur and Arkan wheats by image analysis. Cereal Chemistry 62: 478-480.