

# Clasificación de 85 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.), de acuerdo con su comportamiento agronómico y caracteres morfológicos

Classification of 85 pea accessions (*Pisum sativum* L.), according to their agronomic behavior and morphological characters

César A. Pacheco Ch.<sup>1,3</sup>, María C. Vergara H.<sup>2</sup> y Gustavo A. Ligarreto M.<sup>1</sup>

## RESUMEN

La presente investigación –llevada a cabo en condiciones de invernadero en la Sabana de Bogotá– tuvo por objetivo la identificación de progenitores y selección de variables poblacionales discriminantes en un conjunto de 85 accesiones de arveja, durante dos ciclos de cultivo. En el primero se evaluaron variables morfológicas y agronómicas tales como: componentes de rendimiento, precocidad, altura, hábito de crecimiento, cantidad de ramas, tipo de hoja, tamaño, tipo y grado de curvatura de la vaina, tamaño de pedúnculo, vainas por racimo, color de flor y características morfológicas del grano. En el segundo ciclo se evaluó la enfermedad “ascochyta” causada por *Ascochyta* spp. y *Mycosphaerella* spp. Un análisis factorial de datos mixtos, AFDM, permitió agrupar las 85 accesiones en tres grupos de variación cualitativa-cuantitativa, y seleccionar los materiales 116, 134, 225 y 236 para transmitir características de rendimiento, ramificación y calidad de grano a través de procesos de mejoramiento. Igualmente, los materiales B-036 y B-039 se proponen como progenitores aportantes de porte bajo y precocidad. Los valores severidad de “ascochyta” fueron importantes solo en la clase 3 la cual presentó en promedio, valores menores de severidad de esta enfermedad, medida a floración.

**Palabras clave:** variabilidad genética, fitomejoramiento, datos mixtos, leguminosas.

## ABSTRACT

Out of a set of 85 pea accessions, the present research study was intended to identify parental materials carrying discriminant population variables. The work was carried out under greenhouse conditions in the Bogota Plateau, during two crop cycles. The first one evaluated morphological and agronomical variables such as yield components, precocity, height, growth habit, number of branches, leaf type, size, pod curvature type and degree, peduncle size, number of pods per cluster, flower color and grain morphological characteristics. The second cycle evaluated resistance to “ascochyta blight”, caused by *Ascochyta* spp. and *Mycosphaerella* spp. Factorial Analysis of Mixed Data (FAMD) not only allowed grouping the 85 accessions into three clusters of qualitative-quantitative variation, but also selecting genotypes 116, 134, 225 and 236 as parental materials of breeding interest with regards to yield, grain quality and branching features; genotypes B-036 and B-039 as dwarf and precocious materials; and only those of class 3 as “ascochyta” resistant materials.

**Key words:** genetic variability, plant breeding, mixed data, legumes.

## Introducción

La arveja es fuente de proteína en la alimentación y nutrición de los colombianos, aportando 8,9 y 22,5% de proteína de la porción comestible, en grano verde y seco, respectivamente (Universidad Nacional de Luján, 2004). Se perfiló como cultivo alternativo para la sustitución de cereales que han dejado de ser competitivos, como cebada, trigo y maíz, o en rotación de cultivos como papa, dados los beneficios económicos y edáficos propios de las leguminosas.

La arveja se produce en 11 departamentos; la producción nacional está concentrada en Cundinamarca y Boyacá, con

35 y 33%, respectivamente (CCI, 2000), y está orientada a satisfacer la demanda de producto en fresco, mientras que la demanda del producto seco se cubre con importaciones provenientes de Canadá. En los años 2000 a 2003, Colombia sembró en promedio anual de 21.150 ha con una producción de 57.842 t (Gómez, 2008); en 2007 se sembraron cerca de 27.000 ha (Gómez, 2008). Por otra parte, la tasa de crecimiento del consumo interno de la arveja es de 1,4% anual, y la producción nacional solo está satisfaciendo 35%, ya que el 65% restante es importado; esto se debe a la mayor demanda de arveja seca, que representa 50% del consumo de este producto (CCI, 2000).

Fecha de recepción: 29 de abril de 2009. Aceptado para publicación: 6 de noviembre de 2009

<sup>1</sup> Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

<sup>2</sup> Proyecto Seguridad Alimentaria de la Localidad 20 Sumapaz, Hospital de Nazareth, Bogotá (Colombia).

<sup>3</sup> Autor de correspondencia. capachecoc@unal.edu.co

El material que predomina como cultivo es la variedad Santa Isabel, que ocupa casi toda el área sembrada en arveja en el país, ya que satisface los requerimientos del mercado. Esta homogeneidad es una desventaja desde el punto de vista fitosanitario, haciendo que el manejo de enfermedades producidas por patógenos como *Ascochyta* spp., *Erisiphe pisi*, *Peronospora viciae*, *Pythium* spp. y *Fusarium* spp. (Kraft y Pflieger, 2001) sea cada vez más costoso y difícil. La incidencia de plagas y enfermedades disminuye los rendimientos (Warkentin *et al.*, 1995), eleva los costos de producción y ambientales por uso intensivo de agroquímicos y reduce las áreas donde el cultivo es viable, por persistencia de inóculo e insectos plaga, limitando el crecimiento de las áreas de cultivo, pese a las posibilidades de mercado.

Desde el punto de vista del mejoramiento genético, actualmente no se están ofertando líneas promisorias alternativas, con características agronómicas que satisfagan las necesidades del mercado y del productor, y con adaptación a los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, que son los mayores productores (Espinosa y Ligarreto, 2005).

Para promover la variabilidad genética existente en los bancos de germoplasma es preciso conocer las características de las accesiones, entre las cuales es importante la descripción del fenotipo y el comportamiento agronómico que corresponde a la productividad de la accesión. La variabilidad genética permite seleccionar individuos con caracteres importantes para la obtención de variedades que agraden a consumidores y productores (Ligarreto, 2003; Espinosa y Ligarreto, 2005). Los trabajos relacionados con caracterización de germoplasma de arveja han respondido a necesidades locales o particulares de los investigadores, sin establecer descriptores de aplicación universal. Para el efecto, la Unión Europea (2003) publicó los descriptores para la evaluación de variedades de arveja.

Los objetivos de esta investigación fueron identificar progenitores de arveja para ser usados en proyectos de mejoramiento de la especie e identificar variables relevantes para la clasificación de materiales de arveja como parte de un proyecto de mejoramiento genético.

## Materiales y métodos

### Evaluación de variables vegetativas y reproductivas

Se evaluaron 85 accesiones provenientes de los bancos de germoplasma de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, en los Centros de Investigación Tibaitatá (Mosquera) y La Selva (Rionegro); allí se encuentran las bases de datos de pasaporte de las accesiones. Los descriptores se seleccionaron con base en las

propuestas de la Unión Europea (2003), Corpoica (Medina *et al.*, 1989) y CIAT para el caso de frijol (van Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1991).

La fase de campo del presente trabajo se realizó en la Sabana de Bogotá, 2.556 msnm, temperatura media 14,7°C, mínima -2°C y máxima 28,5°C, humedad relativa media de 70% en condiciones de invernadero, durante dos ciclos de cultivo. En el primer ciclo de cultivo se evaluaron 15 variables cuantitativas y 12 variables cualitativas (Tab. 1). En el segundo ciclo se evaluó la incidencia (%) y severidad (% del área foliar afectada) de la enfermedad de "ascochyta", causada por *Ascochyta* spp., *Mycosphaerella* spp. y *Phoma medicaginis* Malbr. & Roum. var. *pinodella* (L.K. Jones) (Timmerman-Vaughan *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2007). En cada unidad experimental de 1 m de extensión se sembraron 20 semillas de una accesión.

### Evaluación de la enfermedad de ascochyta

#### Producción de inóculo

Los aislamientos se hicieron en PDA (Papa-Dextrosa-Agar 39 g L<sup>-1</sup> de agua), usado para *Ascochyta* spp. y *Mycosphaerella* spp. (Roger y Tivoli, 1996; Roger *et al.*, 1999; Bretag y Ramsey, 2001; Timmerman-Vaughan *et al.*, 2002), con 16 h de fotoperiodo, 22°C de temperatura diurna y 15°C de temperatura nocturna. En la multiplicación de inóculo se transfirió material de colonias con picnidios o peritecios al medio Agar - arveja, 60 g de semillas secas de arveja Santa Isabel; 12 g de Agar (Bretag y Ramsey, 2001), en condiciones de 16 h de fotoperiodo y temperaturas de 22°C día y 15°C noche, durante 4 semanas, consiguiendo conidias y ascosporas.

#### Inoculación

Se utilizó el material Santa Isabel susceptible (Tamayo, 2000) como dispersor, sembrándolo tres semanas antes de la instalación del ensayo. Todos los materiales se inocularon con el segundo par de hojas verdaderas extendidas, dos semanas después de siembra, con una suspensión de 1,5·10<sup>5</sup> conidias y ascosporas por litro de agua, y 0,02 mL L<sup>-1</sup> del agente dispersante Tween 20. Se asperjaron 2.008 mL de la suspensión sobre el dispersor y 5.087 mL en las 85 unidades experimentales. Para favorecer el desarrollo de la enfermedad se instaló un sistema de riego aéreo con microaspersores, que suministró 8,5 mm de riego diario fraccionado en cuatro aspersiones.

Para cuantificar la enfermedad se construyó una escala de severidad basada en Timmerman-Vaughan *et al.* (2002) y Roger *et al.* (1999), con niveles de 0 a 9, donde 0 es ausencia de lesiones visibles; 1 = 1%, 3 = 5%, 5 = 15%, 7 = 25% y 9 =

**TABLA 1.** Abreviaturas de variables y estados del descriptor utilizados para el análisis de clasificación de la colección de arveja.

<b>Variable o estado del descriptor</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Variable o estado del descriptor</b>	<b>Abreviatura</b>
Vainas por planta	v/pl	<b>Forma de grano</b>	<b>for.gr</b>
Vainas por racimo	V/R	Redonda	FG1
Primer nudo reproductivo	Nº 1nd	Redonda angular	FG2
Altura del primer nudo reproductivo	h1nd	Angular	FG3
Altura de planta	hpl	Oval alargado	FG4
Ramas basales	rbas	Rectangular varias formas	FG7
Ramas secundarias	rsec	Irregularmente comprimida	FG8
Peso de 100 semillas	W100	<b>Color del hilum</b>	<b>c.hil</b>
Peso total de semillas por planta	WT	Hialino	H1
Granos por vaina	gr/v	Café claro	H2
Ancho de vaina	AV	Café oscuro	H3
Longitud de vaina	LV	Negro	H4
Días a floración	DAF	<b>Intensidad de pigmento</b>	<b>Int.</b>
Días a primera cosecha	D1C	Ausente	Int0
Días a última cosecha	DUC	Baja	Int1
Incidencia de ascochyta a flor	IncFlor	Media	Int2
Severidad de ascochyta a flor	SevFlor	Alta	Int3
<b>Grado de curvatura</b>	<b>grdc</b>	<b>Forma del pigmento</b>	<b>for.pg</b>
Ausente o muy suave	GC1	Ausente	FPg 0
Suave	GC3	Puntos	FPg 1
Medio	GC5	Puntos y manchas	FPg2
Fuerte	GC7	Manchas	FPg3
<b>Tipo de curvatura</b>	<b>tipc</b>	<b>Color de la flor</b>	<b>c.fl</b>
Recta	TC0	Blanco	Cfl1
Cóncava	TC1	Rosado	Cfl2
<b>Color del grano</b>	<b>col.gr</b>	Fucsia	Cfl3
Café claro	CG3	Morado	Cfl4
Crema	CG6	<b>Tipo de pedúnculo en la rama principal</b>	<b>tip.p</b>
Crema gris	CG7	Corto	TP1
Verde amarillo	CG8	Medio	TP2
Crema con verde claro	CG9	Largo	TP3
Gris crema	CG10	<b>Tipo de pedúnculo en las ramas secundarias</b>	<b>P.rsec</b>
Verde oliva	CG11	Ausente	TPS0
Verde claro	CG12	Corto	TPS1
Verde	CG13	Medio	TPS2
Ocre	CG14	Largo	TPS3
Verde oliva – marrón	CG15	<b>Hábito de crecimiento</b>	<b>hab</b>
Verde oscuro	CG16	Arbustivo	1
<b>Superficie de grano</b>	<b>su.gr</b>	Semivoluble	2
Lisa	SG1	Voluble	3
Lisa con agujeros	SG3	<b>Tipo de hoja</b>	<b>hoja</b>
Ligeramente rugosa	SG4	Tendrillada	THJ1
Rugosa	SG5	Normal	THJ2
		Sin zarcillo	THJ3

50% o más del área foliar afectada. En estado de floración se evaluaron cinco plantas de cada parcela, de las cuales se tomaron cinco folíolos por tercio del dosel de la planta. La severidad se calculó como el promedio de los porcentajes. La incidencia, como el porcentaje de plantas afectadas.

### Análisis estadísticos

Los datos se analizaron mediante el análisis factorial de datos mixtos (AFDM) utilizando el procedimiento Análisis Factorial Múltiple (AFM), y los métodos clasificación sobre factores, corte del árbol y descripción de clases del programa SPAD 4.5® (Cisia-Ceresta, Monteuil Cedex, Francia). El AFM fue propuesto para encontrar relaciones entre grupos de variables y, dentro de tales grupos, variables cuantitativas y cualitativas simultáneamente (Escofier y Pagès, 1992; Abascal *et al.*, 1999). El análisis factorial de datos mixtos AFDM conjuga las técnicas análisis de componentes principales (ACP) y análisis de correspondencias múltiples (ACM), ampliamente usadas en estudios de variabilidad genética (Hidalgo, 2003). Las variables cuantitativas son centradas y normadas a valores *z* y las variables cualitativas son desagregadas en una matriz disyuntiva normalizada (Cabarcas y Pardo, 2001). Esto se logra usando el AFM con grupos de una variable (Pagès, 2004).

El AFM generó una matriz de coordenadas utilizada por el método clasificación sobre factores, el cual permitió establecer un número de clases a través de un dendrograma construido con el criterio de Ward (Díaz *et al.*, 1997). El programa SPAD 4.5 realiza una prueba denominada valor de test, la cual es significativa cuando tiene un valor absoluto igual o superior a 2.

El corte del dendrograma permite establecer clases descritas en dos tipos de tablas: la primera muestra en una columna el porcentaje de las modalidades dentro de la

respectiva clase; este valor se calcula para cada modalidad con valor de test significativo, e indica el porcentaje de la clase que presenta la modalidad, y en otra columna el porcentaje de las clases dentro de las modalidades, que expresa el porcentaje de materiales con esa modalidad que están dentro de la clase (Tab. 2). Se seleccionaron como variables cualitativas discriminantes aquellas con modalidades que presentaran los más altos valores en las dos columnas, porque esto indica identidad entre clase y modalidad.

## Resultados y discusión

### Metodología estadística

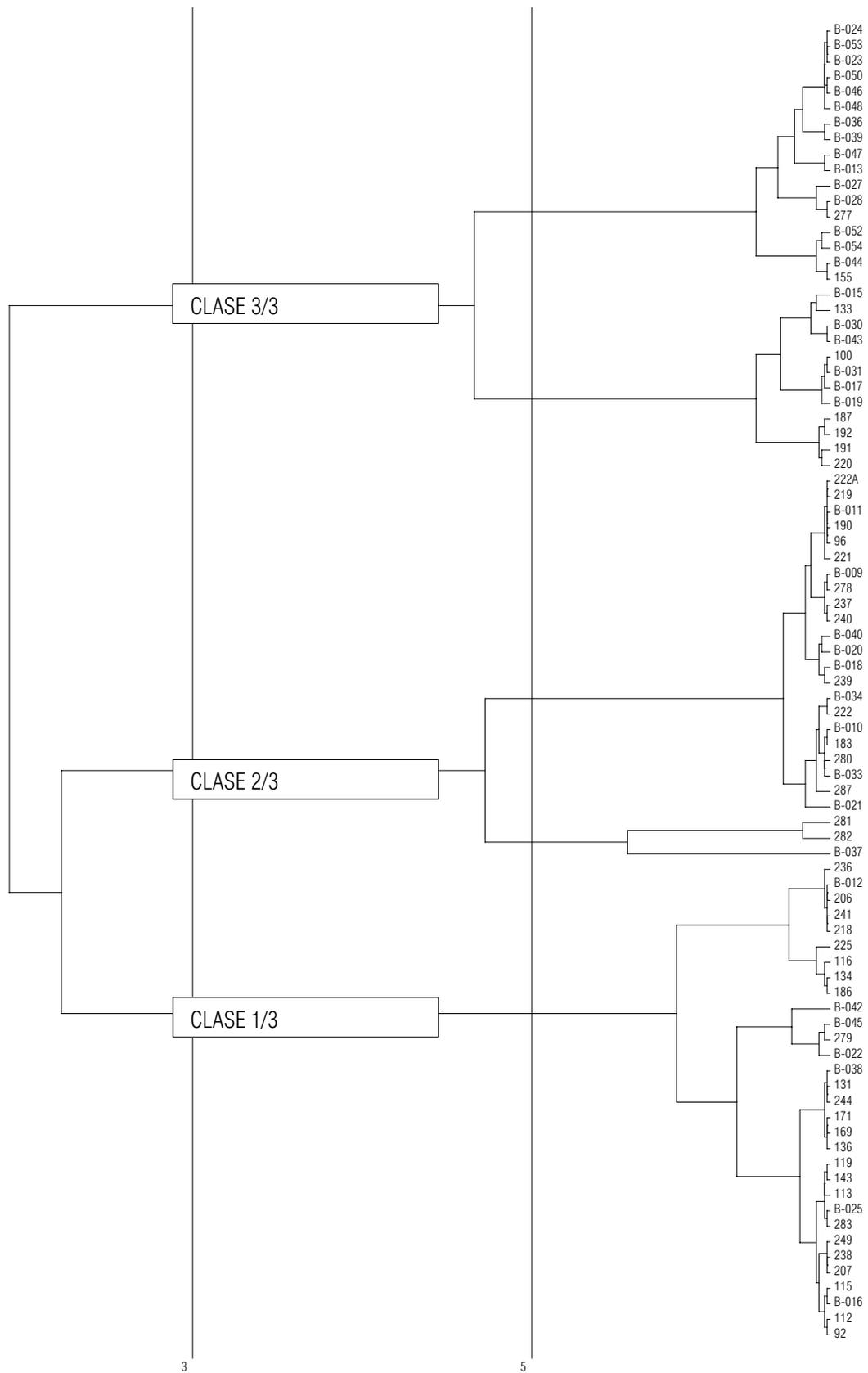
El AFDM permite hacer un análisis balanceado que incluye simultáneamente variables cuantitativas y cualitativas (Pagès, 2004), lo cual se evidenció en la descripción de clases en donde una fue caracterizada por variables cuantitativas, otra por las cualitativas y otra por los dos tipos de variables, ofreciendo una alternativa para la clasificación vía ACP en la que las variables cualitativas se toman como ilustrativas, o vía ACM donde las variables cuantitativas se toman como ilustrativas o se categorizan (Gower, 1971; Escofier y Pagès, 1992; Ligarreto, 2000; Cabarcas y Pardo, 2001). El número de variables, modalidades e individuos fue alto para clasificarlos usando gráficos en los planos factoriales (Pagès, 2004); aun así, la clasificación jerárquica visualizada en un dendrograma permitió establecer clases claramente caracterizadas.

Se generó un dendrograma de clasificación jerárquica directa, que utiliza el criterio de Ward, se basó en las coordenadas sobre los cinco primeros ejes factoriales y permitió clasificar las accesiones en tres clases o agrupamientos definidos por variables mixtas entre cualitativas y cuantitativas (Fig. 1).

**TABLA 2.** Variables cualitativas y modalidades características de la clase uno, según la Fig. 1.

Variabes cualitativas Características	Modalidades características	% de la modalidad dentro de la clase	% de la clase dentro de la modalidad
su.gr	SG1	78,79	96,30
	FG8	0,00	0,00
for.gr	FG3	0,00	0,00
	FG7	0,00	0,00
for.pg	FPg0	100,00	56,90
	FPg1	0,00	0,00
c.hil	H2	0,00	0,00
c.fl	Cfl4	0,00	0,00

su.gr, superficie de grano: SG1, lisa; for.gr, forma de grano: FG8, irregular comprimida; FG3, angular; FG7, rectangular varias formas; for.pg, forma de pigmento: FPg0, ausente; FPg1, puntos; c.hil, color del hilum: H2, café claro; c.fl, color de flor: Cfl4, morada.



**FIGURA 1.** Clasificación jerárquica directa en AFDM de materiales de colección de arveja.

**TABLA 3.** Variables cuantitativas características de la clase uno, según la Fig. 2.

Variables cuantitativas Características	Media de clase	Media general	Error típico de clase	Error típico general
h1nd	123,92	98,02	15,81	35,66
W T	51,49	37,92	24,95	21,05
Hpl	219,91	189,25	33,72	55,08
v/pl	47,96	36,48	24,16	21,04
V/R	1,73	1,48	0,45	0,50

h1nd, altura del primer nudo reproductivo; WT, peso total de semillas por planta; hpl, altura de planta; v/pl, vainas por planta; V/R, vainas por racimo.

### Análisis de las clases genéticas y agronómicas

La clase uno con 33 individuos (Tab. 2 y 3) está conformada por materiales de superficie lisa, ausencia de pigmentos, y excluye las superficies rugosas y formas rectangulares e irregulares, lo cual permite suponer una predominancia del genotipo *R Rb* (UPOV, 1994) y una baja presencia de entradas cuyas semillas tengan altos contenido de amilasas (Khvostova, 1983; Weeden y Boone, 2000). También se espera predominancia del doble dominante, *Pla Qua*, que determina de manera indirecta la forma redondeada de la semilla por favorecer arreglos no compactos de la semilla en la vaina (UPOV, 1994). Se excluyen materiales con antocianinas o expresiones relacionadas con su presencia, como son pigmentos, hilum café claro, color de flor morado, colores de grano ocre y verde oliva y un alto porcentaje de superficies lisas con agujeros, por lo que se esperaría la ausencia de los genes mayores *A*, y *Z* en los materiales de esta clase (Khvostova, 1983).

En este grupo hay una tendencia a formar racimos de dos vainas, lo cual puede estar relacionado con el alelo dominante *Pn*. Entre las variables cuantitativas discriminantes se encontró el rendimiento y dos de sus componentes: peso total y vainas por planta, caracterizando la clase como materiales rendidores, lo que puede ser conveniente para el mejoramiento de la especie, pero se debe tener en cuenta que se trata de caracteres poligénicos influidos por el ambiente, y que la planta posee mecanismos de compensación, en donde la búsqueda del incremento de uno de los caracteres puede traer como consecuencia la reducción de los demás (Timmerman-Vaughan *et al.*, 2005).

La altura de planta y primer nudo reproductivo también son importantes en la caracterización de esta clase, presentando materiales volubles. La altura y el número de primer nudo reproductivo son caracteres influidos por los genes *Lf*, *Sn*, *E* y *Hr* (Alcalde *et al.*, 2000; Larrain y Alcalde, 2003). El gen *Lf* multialélico controla el primer nudo reproductivo (Kraft y Pflieger, 2001), siendo para esta clase de 18, que correspondería a los genotipos *LfeSnHr*, *LfeSnHr* y *LfeSnHr*.

El alelo *Lf<sup>d</sup>* y la combinación *E+Hr* donde *E* adelanta la floración y *Hr* es epistático sobre *E* son improbables por estar asociados a fenotipos muy tardíos (Alcalde *et al.*, 2000; Larrain y Alcalde, 2003). La altura de planta está determinada por el número total de nudos establecidos por los genes *miu mie* y *min* (Khvostova, 1983). Otro factor que determina la altura de planta y del primer nudo floral es la distancia entre nudos, la cual es de naturaleza compleja y dependiente del ambiente (Khvostova, 1983). Las plantas de esta clase presentan características favorables, como el rendimiento y el tipo de grano, pero pueden revelar dificultades de manejo e incremento de costos del cultivo ya que requieren tutores altos, haciendo dispendiosas labores como la cosecha y el tutorado.

La clase dos con 27 materiales (Tab. 4) se caracteriza por variables cualitativas relacionadas con la presencia de antocianinas. Se corrobora la relación de las antocianinas con el color de hilum café claro y la superficie lisa con agujeros (Khvostova, 1983); también se observó una intersección grande entre materiales pigmentados y plantas con semillas ocre y verde oliva. Es muy probable que esta clase esté determinada genéticamente por los genes mayores *A* y *Z*, pudiendo expresarse otros genes menores que codifican para características de pigmento, superficie de grano, color de hilum y color de grano.

En esta clase se excluyen las superficies de grano liso y rugoso; esto podría indicar la presencia del genotipo *R Rb* (UPOV, 1994), el cual favorece el grano redondeado, pero el fenotipo estaría modificado por el alelo *L*, que produce depresiones en presencia del alelo *A* (Khvostova, 1983) o por el doble recesivo *pla - qua* que influye en el arreglo compacto de los granos dentro de la vaina, favoreciendo la formación de depresiones (Khvostova, 1983). También se excluyen materiales de hilum hialino, lo cual es coherente con la presencia del alelo *A* (Khvostova, 1983). El presente trabajo no muestra la relación entre las antocianinas y resistencia a “ascochyta”, sugerida por Khvostova (1983) y Timmerman-Vaughan *et al.* (2002).

**TABLA 4.** Variables cualitativas y modalidades características de la clase dos, según la Fig. 2.

Variables cualitativas Características	Modalidades características	% de la modalidad dentro de la clase	% de la clase dentro de la modalidad
c.fl	Cfl4	92,59	92,59
c.hil	H2	88,89	92,31
for.pg	FPg1	85,19	95,83
su.gr	SG3	96,30	65,00
	SG1	0,00	0,00
	SG5	0,00	0,00
for.gr	FG4	0,00	0,00
col.gr	CG6	0,00	0,00

c.fl, color de flor: Cfl4, morada; c.hil, color del hilum: H2, café claro; for.pg, forma de pigmento: FPg1, puntos; su.gr, superpie de grano: SG3, lisa con agujeros; SG1, lisa; SG5, rugosa; for.gr, forma de grano: FG4, oval alargada; col.gr, color de grano: CG6, crema.

**TABLA 5.** Variables cualitativas y modalidades características de la clase tres, según la Fig. 2.

Variables cualitativas Características	Modalidades características	% de la modalidad dentro de la clase	% de la clase dentro de la modalidad
su.gr	SG5	60,00	100,00
col.gr	CG12	72,00	69,23
grdc	GC5	0,00	0,00
int.	int1	0,00	0,00

su.gr, superpie de grano: SG5, rugosa; col.gr, color de grano: CG12, verde claro; grdc, grado de curvatura: GC5, medio; int., intensidad de pigmento: int1, baja.

**TABLA 6.** Variables cuantitativas características de la clase tres, según la Fig. 2.

Variables cuantitativas Características	Media de clase	Media general	Error típico de clase	Error típico general
SevFlor	4,60	6,41	3,94	4,00
D1C	88,24	94,85	7,97	10,11
WT	23,91	37,92	9,74	21,05
v/pl	20,25	36,48	9,32	21,04
rsec	2,34	4,08	1,59	2,21
DAF	56,16	63,47	5,30	8,39
hpl	132,26	189,25	46,26	55,08
h1nd	58,11	98,02	17,36	35,66

SevFlor, severidad de ascochyta a floración; D1C, días a primera cosecha; WT, peso total de semillas por planta; v/pl, vainas por planta; rsec, ramas secundarias; DAF, días a floración; hpl, altura de planta; h1nd, altura del primer nudo reproductivo.

La clase tres agrupó 25 individuos (Tab. 5 y 6) e incluye los materiales con semillas rugosas; de acuerdo con la UPOV (1994), este fenotipo correspondía a los genotipos *r rb*, *R rb* y *r Rb*, los cuales favorecen un alto contenido de amilasas (Weeden y Boone, 2000), restringiendo su uso a la industria, ya que en Colombia se prefieren las variedades amargas para consumo en fresco. El color característico de los granos fue verde claro. Se excluyen vainas fuertemente curvas y plantas con antocianinas.

Las variables cuantitativas muestran plantas de porte bajo, precoces, poco ramificadas y con bajo rendimiento por planta, baja altura y número del primer nudo floral. Se

observó una reducción en la severidad de la enfermedad de ascochyta. Lo anterior podría explicarse por la precocidad de los materiales, 56 d a floración en promedio, estado fenológico en el que se evaluó la enfermedad, dejando un periodo corto para la producción de inóculo secundario.

### Selección de variables

En estudios de variabilidad de germoplasma es necesario la toma de datos de un gran número de variables cualitativas y cuantitativas en un número representativo de individuos, lo cual implica una inversión considerable en tiempo y recursos; por eso la identificación de variables discriminantes cobra importancia, en virtud de la síntesis y el ahorro en

esfuerzo y recursos. La extrapolación de resultados debe ser cuidadosa ya que el grupo de variables discriminantes depende de características particulares de la población estudiada (Ligarreto, 2003).

Las variables discriminantes deben expresar las diferencias entre materiales desde el punto de vista de los caracteres que se conservan en la población, tomando un rango de valores estrecho en materiales similares, comparado con el rango de la población. Este estudio muestra un equilibrio en el número de las variables cuantitativas y cualitativas relevantes (Tab. 7), a pesar de haberse evaluado más variables cuantitativas que cualitativas; esto se explica porque es un grupo de entradas de colección, donde es posible que se hayan conservado algunos caracteres heredables que puede perderse a través de los procesos de mejoramiento y selección.

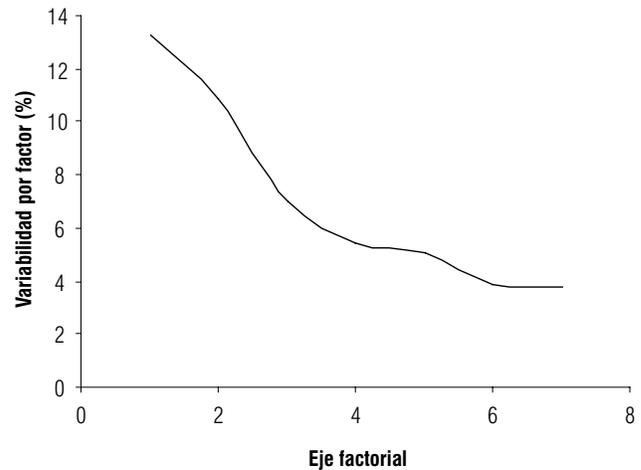
**TABLA 7.** Variables discriminantes de materiales de colección de arveja.

Cuantitativas	Cualitativas
h1nd	su.gr
hpl	for.gr
v/pl	Int.
V/R	for.pg
rsec	c.hil
DAF	c.fl
WT	grdc
	col.gr

h1nd, altura del primer nudo reproductivo; hpl, altura de planta; v/pl, vainas por planta; V/R, vainas por rama; rsec, ramas secundarias; DAF, días a floración; WT, peso total de semillas por planta; su.gr, superficie de grano; for.gr., forma de grano; Int., intensidad de pigmento; for. pg, forma de pigmento; c.hil, color del hilum; c.fl, color de la flor; grdc, grado de curvatura; col.gr, color del grano.

El porcentaje de variabilidad en los primeros ejes factoriales fue bajo en comparación con un ACP o con un AFM (Escotier y Pagès, 1992; Pagès, 2004) con pocas modalidades; esto dificultó utilizar la matriz de coordenadas directamente para seleccionar las variables, pero no impidió generar clases usando un número conveniente de factores, buscando equilibrio entre representar un alto porcentaje de variabilidad y usar una pequeña cantidad de factores. El aporte a la variabilidad de los ejes factoriales (Fig. 2) muestra dos puntos de interés: los tres primeros ejes factoriales que aportaron 31,2% y los cinco primeros factores con 41,7%; con solo tres ejes, la variabilidad sintetizada es baja, y se corre el riesgo de dar demasiado peso a variables correlacionadas. La variabilidad reunida en los cinco primeros ejes factoriales fue pequeña en comparación con un ACP, pero semejante a un ACM; por tal razón la selección de variables se realizó en forma similar a un ACM, basándose

en la descripción de clases construidas sobre una clasificación jerárquica directa. Se seleccionaron las variables y modalidades discriminantes por su presencia e identidad con las clases, o bien por ser excluyentes de las mismas, y posteriormente se usaron como criterio para seleccionar los individuos superiores.



**FIGURA 2.** Variabilidad reunida por los ejes factoriales en un AFM en clasificación de accesiones de arveja. Los puntos de inflexión son de interés para seleccionar el número de ejes factoriales.

Las clases en su conjunto muestran una correlación positiva entre el rendimiento y el número de vainas por planta con coeficiente de correlación 0,907, mientras que las accesiones con semillas más pesadas fueron poco rendidoras, lo cual confirma los resultados reportados por Timmerman-Vaughan *et al.* (2005) y Khvostova (1983). Las variables seleccionadas son de importancia agronómica, tales como la precocidad, el rendimiento y sus componentes, la altura de la planta y la ramificación, y de importancia comercial como son las asociadas a la vaina y al grano (Tab. 7).

### Selección de individuos para programas de mejoramiento

Tomando en cuenta las tres clases, se identificaron siete variables cuantitativas y ocho cualitativas discriminantes (Tab. 7). La población inicial de 85 materiales se redujo a 23 (Tab. 8), mediante una selección preliminar en la cual se tomaron los materiales cuya diferencia con la media de clase fuera de por lo menos una desviación estándar de clase para las variables cuantitativas, o presentaran las modalidades convenientes de las variables cualitativas.

En la clase uno se seleccionaron los cuatro materiales 116, 134, 225, 236 con mayor rendimiento, se descartaron las entradas muy altas y demasiado tardías y el material B-039

**TABLA 8.** Preselección y selección de materiales de la colección de arveja.

Clase	Material	v/pl	V/R	h1nd	hpl	rsec	WT	DAF	su.gr	for.gr	c.hil
Clase uno	113	37,33	1	129	220	4,67	42	66	SG1	FG2	<b>H4</b>
	115	37,20	1	130	230	4,20	39	64	SG1	<b>FG1</b>	H1
	116* <sup>1</sup>	<b>104,0</b> * <sup>2</sup>	2	<u>118</u>	<u>248</u>	<u>8,00</u>	<b>129</b>	<u>64</u>	<u>SG1</u>	<u>FG2</u>	<b>H4</b>
	134	104,5	2	<u>118</u>	<u>218</u>	<u>9,25</u>	<b>117</b>	<u>50</u>	<u>SG1</u>	<u>FG2</u>	H1
	218	74,80	2	115	301	4,20	64	70	SG1	FG2	H1
	225	99,80	2	<u>123</u>	<u>211</u>	<u>10,2</u>	<b>94</b>	<u>68</u>	<u>SG1</u>	<u>FG2</u>	<b>H4</b>
	236	99,50	2	127	235	<u>8,50</u>	<b>100</b>	<u>78</u>	<u>SG1</u>	<u>FG4</u>	H1
	238	53,20	2	<b>103</b>	217	3,40	54	64	SG1	FG2	H1
	283	31,60	1	<b>106</b>	253	4,00	42	64	SG3	FG2	H1
	B-039	37,20	2	<b>62</b>	<b>107</b>	<u>5,00</u>	<u>41</u>	<u>70</u>	<u>SG1</u>	<u>FG2</u>	H1
B-042	29,40	1	116	<b>174</b>	5,60	47	104	SG3	FG4	H1	
Clase dos	281	45,60	1	70	177	6,80	26	60	SG3	FG2	<b>H4</b>
	282	48,80	1	78	168	6,40	30	64	SG3	FG7	<b>H4</b>
Clase tres	100	17,00	2	76	156	1,00	18	55	<b>SG1</b>	FG2	H1
	B-013	23,80	2	<b>39</b>	88	1,60	14	59	SG5	FG7	H1
	B-019	39,40	1	83	215	3,20	<b>39</b>	56	SG3	FG3	H1
	B-024	24,20	1	54	117	3,80	<b>38</b>	56	SG5	FG7	H1
	B-027	22,80	1	<b>39</b>	95	2,80	<b>36</b>	58	SG5	FG8	H1
	B-036	40,20	2	<u>49</u>	<u>91</u>	<b>6,00</b>	<b>46</b>	<u>62</u>	<u>SG3</u>	<u>FG7</u>	H1
	B-044	13,80	1	44	139	1,40	15	<b>47</b>	SG5	FG7	H1
	B-047	28,00	2	<b>40</b>	<b>84</b>	2,80	19	56	SG5	FG7	H1
	B-048	41,25	2	66	126	<b>6,00</b>	<b>40</b>	64	SG5	FG7	H1
	B-052	10,80	1	<b>27</b>	<b>76</b>	0,00	13	<b>46</b>	SG5	FG8	H1

\*<sup>1</sup> Los subrayados son los materiales seleccionados; \*<sup>2</sup> En negrilla, las características más destacadas.

v/pl, vainas por planta; V/R, vainas por rama; h1np, altura del primer nudo reproductivo; hpl, altura de planta; rsec, rama secundarias; WT, peso total de semillas por planta; DAF, días a floración; su.gr, superficie del grano: SG1, lisa; SG3, lisa con agujeros; SG5, rugosa; for.gr, forma de grano: FG1, redonda; FG2, redonda angular; FG3, angular; FG4, oval alargado; FG7, rectangular varias formas; FG8, irregular comprimida; c.hil, color del hilum: H1, hialino; H4, negro.

cuya altura de planta es baja comparada con el promedio de clase y el general, su rendimiento superior a la media general y comparable con los mejores rendimientos de plantas arbustivas y semivolubles de la clase tres. La clase tres aportó el material B-036, un material arbustivo, de grano no rugoso, que presentó los valores más altos de rendimiento y ramificación dentro de su clase, superando materiales de la clase uno que reúne las entradas más rendidoras. En la clase dos se preseleccionaron dos materiales que a pesar de tener características asociadas a la presencia de antocianinas, como son la superficie lisa con agujeros y la flor morada, no tenían pigmento en el grano, los cuales fueron descartados por presentar bajos rendimientos comparados con las otras clases (Tab. 8).

En la selección final (Tab. 8), se tuvo en cuenta el conjunto de variables discriminantes, prefiriendo los materiales con mayor número de caracteres deseables. Desde el punto de vista agronómico, de manejo y del mercado, se buscan plantas rendidoras, precoces, de porte bajo, granos lisos, redondos, con hilum oscuro y resistentes a enfermedades. Los resultados permiten la búsqueda de una o más de

estas características en los materiales propuestos como progenitores, pero no todas en el mismo material, con excepción de la resistencia al “pecoseo”, ya que en este aspecto los resultados no brindan información suficiente.

## Conclusiones

La metodología de análisis estadístico AFDM permite hacer una clasificación de las accesiones por variabilidad genética y agronómica en clases sintéticas, representadas por caracteres mixtos tanto cuantitativos como cualitativos, a diferencia de los demás análisis, que son para variables cualitativas o cuantitativas de manera separada.

Los materiales 116, 134, 225, 236 pueden ser utilizados para conferir características de rendimiento, ramificación y calidad de grano a través de procesos de mejoramiento. Los materiales B-036 y B-039 son propuestos como progenitores que pueden aportar porte bajo y precocidad.

Con seguridad, el incremento en una o más características deseables traerá consigo la pérdida en otras, por lo que no se debe esperar la consecución de plantas de porte bajo

altamente rendidoras con un gran número vainas y semillas grandes, sino un balance de estas características.

## Literatura citada

- Abascal F., E., K. Fernández A., J.I. Madroño H. y M.I. Landaluce C. 1999. Técnicas factoriales de análisis de tablas múltiples: nuevos desarrollos empíricos. En: Universidad del País Vasco, [www.et.bs.ehu.es/biltoki/EPS/dt200106.pdf](http://www.et.bs.ehu.es/biltoki/EPS/dt200106.pdf); consulta: noviembre de 2009.
- Alcalde, J.A., T.R. Wheeler y R.J. Summerfield. 2000. Genetic characterization of flowering of diverse cultivars of pea. *Agron. J.* 92, 772-779.
- Bretag, T.W. y M. Ramsey. 2001. Foliar diseases caused by fungi: *Ascochyta* spp. pp. 24-28. En: Kraft, J.M. y F.L. Pflieger (eds.). *Compendium of pea diseases and pests*. 2a ed. APS Press, St. Paul, MN.
- Cabarcas, G. y E. Pardo C. 2001. Métodos estadísticos multivariados en investigación social: principios y ejemplos de aplicación. p. 53. En: Simposio de Estadística. Santa Marta, Colombia.
- CCI, Corporación Colombia Internacional. 2000. Manual del exportador de frutas, hortalizas y tubérculos en Colombia. En: <http://www.cci.org.co/>; consulta: marzo de 2009.
- Díaz, B., E. Cruces y A. Morillas. 1997. Las regiones europeas: una tipología basada en la aplicación de técnicas multivariantes. *Rev. Astur. Econ.* 10, 249-265.
- Escofier, B. y J. Pagès. 1992. Análisis factoriales simples y múltiples: objetivos métodos e interpretación. Universidad del País Vasco, Bilbao, España.
- Espinosa, N. y G. Ligarreto. 2005. Evaluación de la habilidad combinatoria de siete progenitores de arveja *Pisum sativum* L. *Agron. Colomb.* 23(2), 197-206.
- Gómez J., G.E. 2008. Evaluación de efectos de genes mayores sobre rasgos de rendimiento en arveja (*Pisum sativum*) a partir del cruzamiento de las variedades Santa Isabel x WSU31. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gower, J.C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27, 857-874.
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. pp. 2-25. En: Franco L. y R. Hidalgo (eds.). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico 8. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Cali, Colombia.
- Khvostova, V.V. 1983. Genetics and breeding of peas. USDA; National Science Foundation. New Delhi.
- Kraft, J.M. y F.L. Pflieger. 2001. *Compendium of pea diseases and pests*. 2a ed. APS Press, St. Paul, MN.
- Larrain, M.F. y J.A. Alcalde. 2003. Determinación de las fases de sensibilidad e insensibilidad al fotoperíodo en la etapa de prefloración en arveja (*Pisum sativum* L.). *Cien. Inv. Agr.* 30(1), 15-25.
- Ligarreto M., G.A. 2000. Variabilidad genética en germoplasma del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada por características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y moleculares. Tesis de doctorado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ligarreto, G. 2003. Análisis de la variabilidad genética en frijol. pp. 77-79. En: Franco, L. y R. Hidalgo (eds.). Boletín Técnico 8. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Cali, Colombia.
- Medina, C., M. Escobar y M. Lobo A. 1989. Evaluación primaria y caracterización de germoplasma de arveja (*Pisum sativum* L.). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Boletín Técnico 1, 12-26.
- Pagès, J. 2004. Analyse factorielle de donnees mixtes: principe et exemple d'application. En: Montpellier SupAgro, <http://www.agro-montpellier.fr/sfids/CD/textes/pages1.pdf>; consulta: octubre de 2009.
- Roger, C. y B. Tivoli. 1996. Spatio-temporal development of pycnidia and perithecia and dissemination of spores of *Mycosphaerella pinodes* on pea (*Pisum sativum*). *Plant Pathol.* 45(3), 518-528.
- Roger, C., B. Tivoli y L. Huber. 1999. Effects of interrupted wet periods and different temperatures on the development of ascochyta blight caused by *Mycosphaerella pinodes* on pea (*Pisum sativum*) seedlings. *Plant Pathol. J.* 48, 10-18.
- Tamayo, P.J. 2000. Enfermedades del cultivo de la arveja en Colombia: guía de reconocimiento y control. Boletín Técnico. Corpoica, Rionegro, Colombia.
- Timmerman-Vaughan, G.M., T.J. Frew, A.C. Russell, T. Khan, R. Butler, M. Gilpin, S. Murray y K. Falloon. 2002. QTL mapping of partial resistance to field epidemics of ascochyta blight of pea. *Crop Sci.* 42, 2100-2111.
- Timmerman-Vaughan, G., A. Mills, C. Whitfield, T. Frew, R. Butler, S. Murray, M. Lakemand, J. McCallum J., A. Russell y D. Wilson. 2005. Linkage mapping of QTLs for seed yield, yield components and developmental traits in pea (*Pisum sativum* L.). *Crop Sci.* 45, 1336-1344.
- Unión Europea. 2003. Protocol for distinctness, uniformity and stability tests *Pisum sativum* L. *Sensu lato*. Pea. 06/11/2003. Bruselas.
- Universidad Nacional de Luján. 2004. Arveja, semilla, seca, entera, cruda - *Pisum sativum* L. En: Universidad Nacional de Lujan, <http://www.unlu.edu.ar/~argenfoods/Tablas/Varios/Indice.htm>; consulta: marzo de 2009.
- UPOV, Union Internationale pour la Protection des Obtentions Vegetales. 1994. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Peas (*Pisum sativum* L. *sensu lato*). TG/7/9. En: UPOV, [http://www.upov.int/en/publications/tg-rom/tg007/tg\\_7\\_9.pdf](http://www.upov.int/en/publications/tg-rom/tg007/tg_7_9.pdf); consulta: noviembre de 2009.
- Van Schoonhoven, A. y M.A. Pastor-Corrales. 1991. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. CIAT, Cali, Colombia.
- Warkentin, T.D., K.Y. Rashid y A.G. Xue. 1995. Fungicidal control of ascochyta blight of field pea. *Can. J. Plant Sci.* 76, 67-71.
- Weeden, N.F. y W.E. Boone. 2000. Mapping the *Rb* locus on linkage group III using long PCR followed by endonuclease digestion. En: Institute of Cytology and Genetics, The Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, <http://pisum.bionet.nsc.ru/pg/31/36.htm>; consulta: noviembre de 2009.
- Zhang, R., S.-F., Hwang, K.-F. Chang, B.D. Gossen, S.E. Strelkov, G.D. Turnbull y S.F. Blade. 2006. Genetic resistance to *Mycosphaerella pinodes* in 558 field pea accessions. *Crop Sci.* 46, 2409-2414.
- Zhang, R., S.F. Hwang, B.D. Gossen, K.-F. Chang y G.D. Turnbull. 2007. A quantitative analysis of resistance to *Mycosphaerella* Blight in field pea. *Crop Sci.* 47, 162-167.