

Clasificación de 42 Líneas Mejoradas de Arveja (*Pisum sativum* L.) por Caracteres Morfológicos y Comportamiento Agronómico

Classification of 42 Genotypes of Pea (*Pisum sativum* L.) According to the Morphological Characters and Agronomic Behavior

César Andrés Pacheco Ch.¹; María Consuelo Vergara Holguín² y Gustavo Adolfo Ligarreto Moreno³

Resumen. El estudio se realizó en la Sabana de Bogotá (Colombia), bajo condiciones de invernadero, durante dos ciclos de cultivo. En el primero se evaluaron las variables morfológicas y agronómicas, relacionadas con: componentes de rendimiento, precocidad, altura y hábito de crecimiento, cantidad de ramas, tipo de hoja; tamaño de hoja, tipo y grado de curvatura de la vaina, tamaño de pedúnculo, número de 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. El objetivo de esta investigación fue: identificar líneas genéticas promisorias para continuar el programa de fitomejoramiento en arveja. El Análisis Factorial de Datos Mixtos AFDM, permitió agrupar las 42 líneas de mejora genética en 4 clases de variación cualitativa y cuantitativa, como también seleccionar a los genotipos M-049, M-078, M-080 y M-082 como sobresalientes por caracteres agronómicos.

Palabras clave: Variabilidad genética, fitomejoramiento, datos mixtos.

Abstract. The study was carried out in the Bogotá plateau (Colombia), under greenhouse conditions during two crop cycles. During the first cycle the morphological and agronomical variables associated with yield components, such as precocity, growth habit, number of branches, leaf type, leaf size, type and degree of curvature of pod, size of peduncle, number of pods per cluster, flower color and grain morphological characteristics were evaluated. In the second cycle, the disease "ascochyta" caused by *Ascochyta* spp. and *Mycosphaerella* spp. was evaluated. The objective of this research was to identify pea lines prospective for plant breeding. The factorial analysis of mixed data (FAMD), allowed clustering 42 genotypes into 4 groups of qualitative and quantitative variation and also selecting the materials M-049, M-078, M-080 and M-082 as the best genotypes according to their agronomical characters.

Key words: Genetic variability, plant breeding, mixed data.

La arveja es fuente de proteína en la alimentación y nutrición de los colombianos, aporta 8,9% y 22,5% de proteína de la porción comestible, en grano verde y seco respectivamente (Universidad Nacional de Luján, 2004). En Colombia se cultiva en 11 departamentos, siendo Cundinamarca y Boyacá, los principales productores con 35% y 33% respectivamente (Corporación Colombia Internacional - CCI, 2000). La cosecha nacional 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 año 21.150 ha con un rendimiento de 57.842 t (Fenalce, 2004), en el 2007 se sembraron cerca de 27.000 ha (Gómez, 2008). La tasa de crecimiento del consumo interno de la arveja es del 1,4% anual. Las deficiencias en el volumen para atender la demanda nacional se

cubre con importaciones esto se debe a que el país no produce arveja en grano seco, la cual a su vez, representa el 50% del consumo (CCI, 2000).

El material sembrado predominante, es el cultivar Santa Isabel ya que satisface los requerimientos del mercado y ocupa casi toda el área sembrada en arveja del país, tal homogeneidad constituye 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. (Fenalce, 2002), sea crecientemente costoso y complejo. La incidencia y persistencia de plagas y enfermedades disminuye los rendimientos, (Warkentin, Rashid y Xue, 1995), elevan los costos de producción y ambientales por uso intensivo de agroquímicos y reducen las áreas de viabilidad del cultivo, limitando el crecimiento en

¹ Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Agronomía. Carrera 45 No. 26-85, Bogotá, Colombia.

² Ingeniera Agrónoma. Hospital de Nazareth. Proyecto Seguridad Alimentaria de la Localidad 20 Sumapáz. (Sede Admon) Calle 48 No. 73-55, Bogotá, Colombia.

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Agronomía. Carrera 45 No. 26-85, Bogotá, Colombia. <galigarretom@unal.edu.co>

Recibido: Agosto 31 de 2009; Aceptado: Enero 13 de 2011.

términos de área cultivada, pese a las posibilidades de mercado.

Desde el punto de vista del mejoramiento genético actualmente se tienen pocas variedades ofertadas y con excepción de las variedades San Isidro e ICA Sindamanoy para el departamento de Nariño, no se dispone de otras, en especial con adaptación a los departamentos de Cundinamarca y Boyacá que presenten características agronómicas que satisfagan las necesidades del mercado y de los agricultores.

Para la promoción de la variabilidad genética existente en los programas de mejoramiento y en los bancos de germoplasma, es necesario explorar la variabilidad de las líneas avanzadas y de las accesiones y describir los fenotipos y su comportamiento agronómico. La variabilidad genética permite seleccionar individuos con caracteres cualitativos y cuantitativos importantes para la obtención de variedades que agraden a consumidores y productores (Ligarreto, 1999). Para la identificación de los efectos de las contribuciones genotípicas a caracteres cuantitativos se han propuesto diferentes métodos que parten de poblaciones de generaciones derivadas de un cruce entre dos líneas parentales puras, con análisis de varianzas poblacionales y técnicas basadas en verosimilitud.

Cuando se estudia la variabilidad de una población se requiere tomar un gran volumen de información en un número elevado de variables cualitativas y cuantitativas de un número representativo de individuos, invirtiendo abundantes recursos (Ligarreto, 1999). En ese sentido la identificación de variables discriminantes permite la síntesis y el ahorro en esfuerzo y recursos. La extrapolación de resultados está limitada por las características particulares de la población estudiada.

Los trabajos relacionados con la selección de cultivares de arveja han respondido a necesidades locales o particulares de los productores, se considera que la precocidad es una de las características varietales que más se ha mostrado sensible al ambiente, particularmente por la variación de la temperatura a lo largo del período vegetativo, por ende, la temperatura es determinante en la producción y en el desarrollo de la arveja, otro factor que afecta la producción es la densidad de plantas por unidad de superficie, los mayores rendimientos se obtienen con los niveles altos de población, aunque se reduce el rendimiento por planta. Junto a estos parámetros de selección de cultivares tiene importancia la presentación del

producto en vaina en fresco, el número de granos por vaina, el tamaño de la vaina y el color de la semilla cuando seca, sin embargo, los investigadores no aplican descriptores universales en la selección de nuevas líneas de mejoramiento (González y Ligarreto, 2006). Para el efecto, la Unión Europea publicó descriptores que permiten realizar evaluación de variedades en arveja (Unión Europea, 2003).

El objetivo de esta investigación fue identificar genotipos de arveja con procesos de mejoramiento genético realizado por las investigaciones del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), para avanzarlos en proyectos actuales y analizar cuales variables afectan el rendimiento de la población en estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Evaluación de variables vegetativas y reproductivas. Se evaluaron 42 materiales en proceso de mejoramiento provenientes de los bancos de germoplasma de la nación colombiana administrados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) existentes en los Centros de Investigación "Tibaitatá" ubicado en el municipio de Mosquera, Cundinamarca y "La Selva" en Rionegro, Antioquia. Los descriptores varietales se seleccionaron con base en las propuestas de la Unión Europea (Unión Europea, 2003), CORPOICA (Medina, Escobar y Lobo, 1989) y del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para el caso de frijón (Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1991).

La fase de campo del trabajo se realizó en la Sabana de Bogotá bajo condiciones de invernadero, durante dos ciclos de cultivo, con un manejo agronómico convencional. En el primer ciclo de cultivo se evaluaron 15 variables cuantitativas y 15 variables cualitativas relacionadas en la Tabla 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, y Zhang *et al.*, 2007). Como unidad experimental se sembraron 20 semillas por material, en parcelas de 1 m de largo.

Evaluación de la enfermedad de Ascochyta

Producción de inóculo. Los aislamientos se hicieron en 39 g de PDA (Papa-Dextrosa-Agar) por litro de agua, usado para *Ascochyta* spp. y *Mycosphaerella* spp.

(Roger y Tivoli, 1996; Roger, Tivoli y Huber, 1999; Bretag y Ramsey, 2001, y Timmerman-Vaughan *et al.*, 2002;), con 16 horas de fotoperíodo, 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 y 12 g de Agar (Bretag y Ramsey, 2001), bajo condiciones de 16 horas de fotoperíodo y temperaturas de 22 °C día y 15 °C noche, durante 4 semanas, consiguiendo conidias y ascosporas.

Tabla 1. Abreviaturas de variables y estados de los descriptores utilizados para la clasificación de líneas mejoradas de arveja.

Variable o Estado del descriptor	Abreviatura	Variable o Estado del descriptor	Abreviatura
Vainas por planta	v/pl	Color del grano	col.gr
Vainas por racimo	V/R	Ocre	CG14
Primer nudo reproductivo	Nº1nd	Verde oliva - marrón	CG15
Altura del primer nudo reproductivo	h1nd	Verde oscuro	CG16
Altura de planta	hpl	Verde	CG13
Ramas basales	rbas		
Reamas secundarias	r.sec	Superficie del grano	su.gr
Peso de 100 semillas	W100	Lisa	SG1
Peso total de semillas por planta	WT	Lisa con agujeros	SG3
Granos por vaina	gr/v	Ligeramente rugosa	SG4
Ancho de vaina	AV	Rugosa	SG5
Longitud de vaina	LV		
Días a floración	DAF	Forma del grano	for.gr
Días a primera cosecha	DIC	Redonda	FG1
Días a última cosecha	DUC	Redonda angular	FG2
Incidencia de Ascochyta	IncFlor	Angular	FG3
Severidad de Ascochyta	ServFlor	Oval alargado	FG4
		Rectangular varias formas	FG7
		Irregularmente comprimida	FG8
Grado de curvatura	grdc		
Ausente o muy suave	GC1	Intensidad del pigmento	In.p
Suave	GC3	Ausente	Int0
Medio	GC5	Baja	Int1
Fuerte	GC7	Media	Int2
		Alta	Int3
Tipo de curvatura	tipc		
Recta	TC0	Forma del pigmento	For.pg
Cóncava	TC1	Ausente	FPg0
		Puntos	FPg1
Tipo de pedúnculo en la rama principal	tip.p	Puntos y manchas	FPg2
Corto	TP1	Manchas	FPg3
Medio	TP2		
Largo	TP3		
		Color de la flor	c.fl
Tipo de pedúnculo en las ramas secundarias	P.rsec	Blanca	Cf1
Ausente	TPS0	Rosado	Cf2
Corto	TPS1	Fucsia	Cf3
Medio	TPS2	Morada	Cf4
Largo	TPS3		
		Tipo de hoja	hoja
Hábito de crecimiento	hab	Tendrilada	THJ1
Arbustivo	1	Normal	THJ2
Semivoluble	2	Sin zarcillo	THJ3
Voluble	3		
		Color del hilum	c.hil
Color del grano	col.gr	Hialino	H1
Café claro	CG3	Café claro	H2
Crema	CG6	Café oscuro	H3
Crema gris	CG7	Negro	H4
Verde amarillo	CG8		
Crema con verde claro	CG9		
Gris crema	CG10		
Verde oliva	CG11		
Verde claro	CG12		

Inoculación. Como dispersor se utilizó el material susceptible de arveja variedad Santa Isabel (Tamayo, 2000), sembrándolo 3 semanas antes de la instalación del ensayo. Todos los materiales se inocularon con el segundo par de hojas verdaderas extendidas, 2 semanas después de siembra, con una suspensión de $1,5 \times 10^5$ conidias y ascosporas por litro de agua, y 0,02 mL/L del agente dispersante Tween 20. Se asperjaron 0,992 L de la suspensión sobre el dispersor y 2,514 L en las 42 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 4 aspersiones.

Para cuantificar la enfermedad se construyó una escala de severidad basada en Timmerman-Vaughan *et al.* (2002) y Roger, Tivoli y Huber (1999), con niveles de 0 a 9, donde 0 es ausencia de lesiones visibles; 1=1%, 3=5%, 5=15%, 7=25% y 9=50% o más del área foliar afectada. En estado de floración se evaluaron 5 plantas de cada parcela de las cuales se tomaron 5 folíolos por tercio del dosel de la planta. La severidad se calculó como el promedio de los porcentajes.

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. El AFM fue propuesto para encontrar relaciones entre grupos de variables y dentro de tales grupos, pudiendo existir grupos con 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). Es recomendable que el número de variables cuantitativas sea mayor que el de las cualitativas (Pagès, 2004), en este estudio la relación fue de 2:3

El AFM generó una matriz de coordenadas utilizada por el método clasificación sobre factores, el cual permitió establecer clases realizando cortes sobre un dendrograma construido con el criterio de Ward (Díaz, 1997). El programa SPAD 4.5 realiza una prueba

denominada valor de test, la cual es significativa cuando su valor absoluto es mayor o igual que 2.

El corte del árbol genera dos tipos de tablas con las principales características de clase: las primeras muestran en una columna el porcentaje de las modalidades dentro de la clase; el cual 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 cuantos materiales con esa modalidad se incluyen dentro de la clase. Cuando las modalidades presentan altos valores en las dos columnas indica identidad entre clase y modalidad, pudiéndose proponer variables discriminantes. El comportamiento general de los materiales con respecto a las variables discriminantes genera agrupamientos por similitud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El AFDM permite hacer un análisis balanceado incluyendo simultáneamente variables cuantitativas y cualitativas (Pagès, 2004), lo cual se evidenció en la descripción de clases ya que éstas se caracterizaron por variables cuantitativas, cualitativas o ambos tipos, ofreciendo una alternativa para la clasificación vías ACP y ACM donde parte de las variables se toman como ilustrativas o se categorizan (Gower 1971; Escofier y Pagès, 1992; Ligarreto, 2001, y Cabarcas y Pardo 2001). El alto número de variables, modalidades e individuos impidió clasificar con base en gráficas de los planos factoriales (Pagès, 2004), pero la clasificación jerárquica, visualizada en un dendrograma permitió establecer clases bien definidas.

La gráfica de variabilidad en los ejes factoriales (Figura 1) muestra dos puntos de inflexión: los 3 primeros ejes factoriales que aportaron el 36,1 % y los 5 primeros factores con el 48,8%; la variabilidad sintetizada en 3 ejes es baja y se corre el riesgo de expresar únicamente variables correlacionadas y despreciar otras relaciones. La variabilidad sintetizada en los 5 primeros ejes factoriales fue comparable con la de un ACM y permitió seleccionar variables basándose en la descripción de clases generadas a partir de una clasificación jerárquica directa, el cual usa el criterio de Ward, basado en las coordenadas en los 5 primeros ejes factoriales y permitiendo clasificar los materiales en 4 clases caracterizadas por variables cualitativas y cuantitativas.

Selección de variables. Las variables a seleccionar pueden ser de importancia agronómica tales como la precocidad, el rendimiento y sus componentes, altura de

la planta y ramificación; o bien de importancia comercial, como el tamaño de vaina y el aspecto del grano.

Las variables discriminantes están asociadas con caracteres que se conservan en la población y deben expresar las diferencias entre clases, tomando un rango de valores estrecho en materiales similares comparado con el

rango de la población. Éste estudio muestra que la población analizada se caracteriza principalmente por variables cuantitativas y por algunas cualitativas, esto se explica porque se trata de un grupo de materiales en proceso de mejora genética, donde la variabilidad por caracteres cualitativos pudo haberse disminuido a través de los procesos de selección.

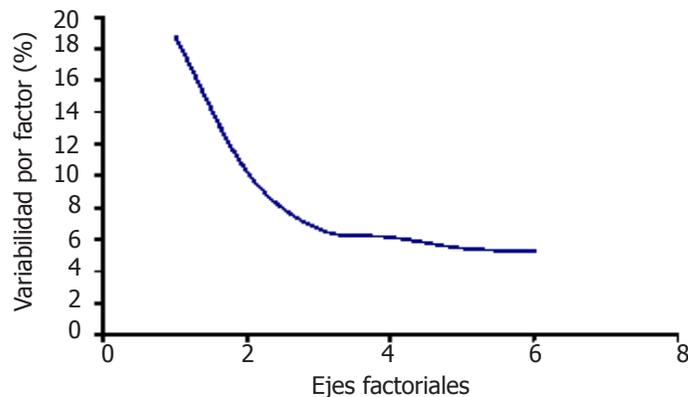


Figura 1. Variabilidad de materiales de mejoramiento de arveja representada en ejes factoriales de un Análisis Factorial Múltiple (AFM).

La variabilidad en los 5 primeros ejes factoriales fue baja comparada con un ACP o con un AFM (Escofier y Pagès, 1992 y Pagès, 2004) con pocas modalidades, lo cual impidió usar la matriz de coordenadas directamente para seleccionar las variables. Pero se pudieron generar 4 clases usando un número reducido de factores, conservando una parte importante de la variabilidad, permitiendo de esta forma seleccionar las variables y modalidades discriminantes, por su presencia e identidad con las clases o por ser excluyentes con las mismas. Con base en las 4 clases se identificaron 9 variables cuantitativas y 3 cualitativas discriminantes dentro de las cuales la evaluación por severidad e incidencia a *Ascochyta* no fue discriminante para la población en estudio, lo que puede ser debido a que el ambiente de evaluación no permitió la multiplicación suficiente del patógeno para crear una buena presión de la enfermedad sobre los genotipos, en consecuencia no se pudo realizar selección por la expresión de este carácter.

Las clases en su conjunto muestran una correlación positiva entre el rendimiento y las variables: número de vainas por planta, ramas secundarias, altura del primer nudo reproductivo y días a floración, este grado de asociación se encuentra constantemente en

evaluaciones de arveja ya que el rendimiento depende de la compensación de sus componentes siendo el número de vainas el de mayor incidencia tal como lo reportan González y Ligarreto (2006) para poblaciones de arveja arbustiva con coeficientes de correlación $r=0,67$ y $r=0,92$ altamente significativos entre rendimiento con el número de vainas por planta y número de vainas por unidad de área, respectivamente.

En arveja voluble el número de ramas secundarias se convierten en la opción de tener más vainas por planta lo que incide en un mayor rendimiento, mientras que la altura del primer nudo reproductivo esta asociada con el hábito de la planta, así poca altura es para cultivares de porte bajo o arbustivas y de ciclo de vida corto y los materiales indeterminados son tardíos (Gritton, 1983).

En especies leguminosas de grano como frijón y arveja de hábito de crecimiento indeterminado es frecuente que ocurra una correlación positiva entre rendimiento y días a floración, por lo general las plantas que tiene una maduración de vainas mucho antes que otras vainas dentro de las plantas, tienen diferentes momentos de senescencia dentro del dosel, lo que se refleja en una mayor duración para realizar fotosíntesis durante todo el proceso de llenado y formación del grano, este

comportamiento es significativo en la determinación del rendimiento por planta como lo mencionan López y Ligarreto (2006).

Gallego (2005) afirma en el caso de frijol, que genotipos que entran en senescencia de forma temprana presentan un tamaño pequeño del grano y son precoces, de manera contraria los genotipos tardíos pueden presentar mayor tamaño de grano y rendimiento. Lo anterior es una respuesta fisiológica dada por la interacción genotipo x ambiente que para llenar granos más grandes se requiere más tiempo y la exposición a niveles elevados de CO₂, aumentando la fotosíntesis, lo que a su vez, se refleja en el rendimiento de grano y en el peso seco

del frijol, al igual que en otros cultivos (Prasad *et al.*, 2002).

Análisis de las clases genéticas y agronómicas.

La Clase 1 agrupó 21 materiales, caracterizados por tener hilum hialino y ser semiprecoces con respecto a los días a cosecha (Tabla 2). La Clase 2 con 7 individuos se caracterizó por agrupar materiales poco rendidores, precoces, con pocas ramas secundarias, de porte bajo y vainas pequeñas (Tabla 3). La Clase 3 incluyó solamente el único material pigmentado. La Clase 4 agrupó 13 materiales cuyas principales características fueron hilum negro, superficie de grano liso (Tabla 4), alto rendimiento, ramificados, de porte alto y semitardías (Tabla 5).

Tabla 2. Variables y modalidades características de la Clase 1 de materiales para mejoramiento de arveja.

Variables cualitativas	Modalidades	Modalidad dentro de la clase (%)	Clase dentro de la modalidad (%)	
c.hil	H1	100,00	68,97	
c.hil	H4	0,00	0,00	

Variables cuantitativas características	Media de clase	Media general	Error típico de clase	Error típico general
D1C	84,400	87,691	3,412	7,275

c.hil, color del hilum: H1, hialino; H4, negro; D1C: días a primera cosecha.

La presencia de hilum hialino en la Clase 1 (Tabla 2) es un factor de consideración en la producción de arveja en Colombia donde por tradición el mercado mayorista prefiere el hilum negro; sin embargo, es una situación que puede ser cambiante en la medida en que se transformen los mercados y las costumbres de consumo. También reúne materiales semiprecoces, es decir, con los alelos *If* y *Lf* como determinantes del primer nudo floral, la altura y el número de primer nudo reproductivo que son caracteres influidos por los genes *Lf*, *Sn*, *E* y *Hr* (Alcalde, Wheeler y Summerfield, 2000; Larrain y Alcalde, 2003). El gen *Lf* multialélico controla el primer nudo reproductivo (Kraft y Pflieger, 2001). Se descartan: las combinaciones *EHr*, donde *E* adelanta la floración y *Hr* es epistático sobre *E* produciendo fenotipos muy tardíos, también se descartan el alelo *sn* característico de materiales muy precoces y el alelo *Lf* que produce materiales muy tardíos con un primer nudo floral aproximado de 23 (Larrain y Alcalde 2003).

En la Clase 2 (Tabla 3) se agruparon materiales precoces, con un número promedio de primer nudo

productivo cercano a 11, lo cual puede indicar una influencia importante de los alelos *If*, *Lf* que producen 8 y 11 nudos como mínimo respectivamente, la presencia de *Lf* es improbable por cuanto ese genotipo está asociado a fenotipos muy tardíos (Larrain y Alcalde, 2003). Se espera presencia del alelo *E* el cual es característico de materiales precoces, pero también de *e*, en ambos casos debería presentarse la combinación *Snhr*; ya que *Hr* produce floración tardía para fotoperiodos cercanos a las 11,5 h y *Sn* solo se presenta en materiales muy precoces con floración cercana a los 35 días (Larrain y Alcalde, 2003). El número del primer nudo floral pequeño favoreció una altura de planta baja, 34 cm por debajo de la media general, la cual depende también de la distancia entre nudos que es un carácter poligénico (Khvostova, 1983). Los materiales de esta clase son precoces respecto a días a floración, pero este carácter favorable se ve opacado por características indeseables como pocas vainas por planta, longitud corta de la vaina, ramificación escasa y bajo rendimiento.

Tabla 3. Variables y modalidades características de la Clase 2 de materiales para mejoramiento de arveja.

VARIABLES CUANTITATIVAS CARACTERÍSTICAS	Media de clase	Media general	Error típico de clase	Error típico general
LV	67,76	72,02	2,30	4,93
v/pl	11,56	18,24	3,67	7,51
r.sec	0,92	2,51	0,56	1,70
W T	16,70	27,32	4,76	11,27
DAF	53,00	59,97	2,33	6,41
hpl	143,17	174,97	17,83	23,03
h1nd	63,95	100,53	10,52	25,31
Nº1nd	10,77	15,24	1,56	3,06

LV, longitud de vaina; v/pl, vainas por planta; r.sec, ramas secundarias; WT, peso total de semillas por planta; DAF, días a floración; hpl, altura de planta; h1nd, altura de primer nudo reproductivo; Nº1nd, primer nudo reproductivo.

La Clase 4 (Tablas 4 y 5) presenta materiales de superficie de grano lisa asociada al genotipo *R Rb*, (UPOV, 1996) e hilum negro relacionado con el genotipo *PI* (Khvostova, 1983); dos características deseables desde el punto de vista del mercado en Colombia. Esta clase se destaca por tener plantas ramificadas, y tardías, así como rendimientos, vainas por planta y altura al primer nudo reproductivo por

encima del promedio general. La altura de planta y primer nudo reproductivo también son importantes en la caracterización de esta clase, presentando materiales volubles. El primer nudo reproductivo de esta clase fue 18 que corresponde al alelo *Lf* (Kraft y Pflieger, 2001), pudiéndose presentar *lf* en menor proporción y *Lf*, en forma atípica ya que su presencia produce genotipos demasiado tardíos.

Tabla 4. Variables cualitativas y modalidades características de la Clase 3 de materiales para mejoramiento de arveja.

VARIABLES CUALITATIVAS	Modalidades	Modalidad dentro de la clase (%)	Clase dentro de la modalidad (%)
su.gr	SG1	78,57	84,62
c.hil	H4	71,43	83,33

su.gr, superficie de grano: SG1, lisa; c.chil, color del hilum: H4, negro.

Tabla 5. Variables cuantitativas características de la Clase 4 de materiales para mejoramiento de arveja.

VARIABLES CUANTITATIVAS	Media de clase	Media general	Desviación estándar	Desviación estándar
r.sec	4,421	2,519	0,877	1,701
DAF	67,000	59,976	3,485	6,416
D1C	94,857	87,691	7,818	7,275
W T	37,899	27,327	10,234	11,274
v/pl	24,779	18,246	5,890	7,513
h1nd	116,694	100,535	17,168	25,313
Nº1nd	17,921	15,241	1,250	3,064

r.sec, ramas secundarias; DAF, días a floración; D1C: días a primera cosecha; WT, peso total de semillas por planta; v/pl, vainas por planta; h1nd, altura de primer nudo reproductivo; No.1nd, primer nudo reproductivo.

De acuerdo con (Larrain y Alcalde, 2003), las combinaciones $e + hr$, serían comunes, mientras que $E + Hr$ serían raras. Se descarta la presencia de sn , por tratarse de materiales tardíos. La altura de planta está determinada por el número total de nudos, condicionados por los genes miu mie y min , y por 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 presentar dificultades de manejo e incremento

de costos del cultivo ya que requieren de tutores altos, haciendo dispendiosas las labores como la cosecha y el tutorado.

Selección de individuos. En la Tabla 6, se aprecia que de la población inicial de 42 materiales se redujo a 13, seleccionando preliminarmente los materiales cuya diferencia con la media de clase fuera de por lo menos una desviación estándar de clase para las variables continuas, o presentaran de forma excepcional las modalidades convenientes de las variables cualitativas.

Tabla 6. Preselección de materiales promisorios para mejoramiento de arveja.

Clase	Material	v/pl	No.1nd	h1nd	hpl	r.sec	W T	LV	DAF	D1C	su.gr	In.p	c.hil
Clase 1	M-110	26,50	16,75	121,00	170,25	3,75	30,63	60,36	58,00	77,00	SG3	int0	H1
	M-049*1	26,67	12,80	73,67	164,33	3,00	41,12	67,59	54,00	79,00*2	SG3	int0	H1
Clase 2	M-100	10,40	9,60	62,40	136,60	0,80	12,54	65,79	49,00	77,00	SG3	int0	H1
	M-103	20,20	13,60	87,40	182,75	2,20	25,75	67,29	56,00	84,00	SG5	int0	H3
	M-065	8,20	9,40	62,60	124,60	0,80	11,52	67,00	52,00	84,00	SG3	int0	H1
	M-067	12,00	9,80	57,60	132,20	0,80	21,08	70,4	52,00	84,00	SG3	int0	H1
Clase 4	M-041	21,40	18,80	113,00	143,80	4,20	26,89	65,58	64,00	79,00	SG1	int0	H4
	M-058	25,80	18,20	123,20	196,20	4,40	31,14	70,5	64,00	86,00	SG3	int0	H4
	M-069	35,60	18,60	135,60	214,40	5,00	49,63	74,3	68,00	91,00	SG1	int0	H4
	M-072	26,75	14,25	77,00	175,25	3,75	41,97	74,6	70,00	102,00	SG1	int0	H4
	M-078	30,00	19,00	113,67	187,00	5,00	56,55	74,7	67,00	99,00	SG1	int0	H4
M-080	29,20	17,80	85,80	174,80	4,40	46,47	73,0	67,00	91,00	SG3	int0	H1	
M-082	29,75	18,50	124,25	179,75	6,75	49,46	74,6	67,00	99,00	SG1	int0	H1	

*1 en fondo gris los materiales seleccionados; *2 En negrilla, las características más destacadas.

La selección final se hizo teniendo en cuenta el conjunto de variables discriminantes (Tabla 7) y priorizando los materiales con mayor número de caracteres deseables. Se seleccionó un material de la Clase 1 como promisorio por ser precoz, de porte bajo y rendimiento superior a la media general (Tabla 6), de las Clases 2 y 3 no se seleccionaron materiales y de la Clase 4 se seleccionaron 3 cuyas principales características fueron: alto rendimiento, porte alto, semitardías ramificadas, dos materiales con superficie de grano lisa y el otro lisa con agujeros, un material con hilum negro y dos con hilum hialino (Tabla 6). En todos los casos los materiales propuestos fueron no pigmentados ya que esta es una característica que el mercado considera indeseable.

Los materiales promisorios se seleccionaron mediante la observación de las variables discriminantes buscando un equilibrio en los caracteres deseables (Tabla 6). En

la Clase 1 se preseleccionaron los materiales M-110 y M-049 similares en número de vainas por planta, características de grano, porte y ramificación, M-049 tiene un tamaño de vaina mayor que puede explicar el hecho de ser un 25% más rendidor que M-110, por lo cual M-049 se seleccionó como promisorio. La Clase 2 presentó rendimientos por planta bajos, escasa ramificación, pocas vainas por planta y superficie de grano con agujeros o rugosa, precoces en cuanto a días a floración pero los días a primera cosecha fueron iguales o mayores que en la Clase 1, por estas características la Clase 2 fue descartada en su totalidad, al igual que la Clase 3 que incluyó solo el único material pigmentado. La Clase 4 aportó tres materiales volubles, semitardíos, ramificados, de vainas grandes, con rendimiento superior, granos lisos o lisos con agujeros, M-080 y M-082 presentaron hilum hialino mientras que M-078 hilum negro (Tabla 6).

Tabla 7. Variables discriminantes de materiales para mejoramiento de arveja según su importancia en el agrupamiento en clases.

Cuantitativas			Cualitativas
1. D1C	4. r.sec	7. hpl	10. c.hil
2. LV	5. WT	8. h1nd	11. su.gr

D1C: días a primera cosecha; LV, longitud de vaina; v/pl, vainas por planta; r.sec, ramas secundarias; WT, peso total de semillas por planta; DAF, días a floración; hpl, altura de planta; h1nd, altura de primer nudo reproductivo; N°1nd, primer nudo reproductivo; c.chil, color del hilum; su.gr, superficie de grano; ion.p, intensidad del pigmento.

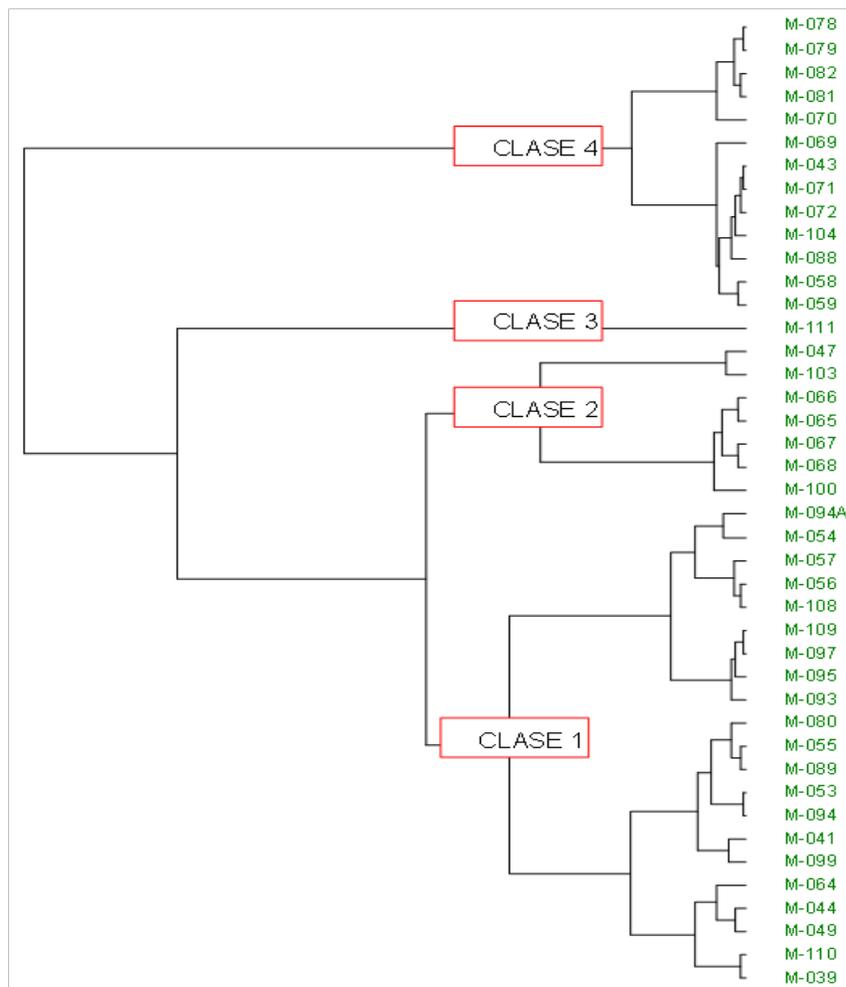


Figura 2. Clasificación jerárquica con Análisis Factorial de Datos Mixtos (AFDM), de materiales para mejoramiento de arveja.

Los materiales preseleccionados (Tabla 6) en su totalidad pueden seguir el proceso de mejoramiento mientras que los seleccionados deben seguir un proceso de estabilización y de pruebas agronómicas a fin de ser

candidatizados como nuevas variedades y ser liberados, aunque no debe descartarse continuar con el proceso de mejoramiento buscando precocidad y menores alturas de planta e incluso mejores rendimientos.

CONCLUSIONES

Los cultivares de arveja voluble M-049, M-078, M-080 y M-082 fueron seleccionados como promisorios para continuar su proceso de mejora genética dada sus características de precocidad, buena ramificación, vainas grandes y alto rendimiento por planta, comportamiento que debe verificarse en experimentos con diseños experimentales en campo, para poder considerar cuales genotipos pueden proponerse como nuevas variedades mejoradas para las zonas productoras en el país o como progenitores para conferir características de rendimiento y calidad de la vaina y grano a través de procesos de mejoramiento.

Las variables con mayor peso en el proceso de discriminar la clasificación de los genotipos de arveja fueron las cuantitativas, asociadas a precocidad, principalmente días a primera cosecha y los componentes de rendimiento vainas por planta, peso de granos por planta y ramas secundarias como porte de la planta expresado en la altura de la planta y la altura al primer nudo, mientras que los caracteres cualitativos tuvieron poca acción discriminante entre las que sobresalen el color del hilum y la superficie del grano.

BIBLIOGRAFÍA

- Abascal E., K. Fernández, J. Madroño y M. Landaluce. 1999. Técnicas factoriales de análisis de tablas múltiples: Nuevos desarrollos empíricos. Proyectos de Investigación PB98-0149 de la Dirección General de Enseñanza Superior del Ministerio de Educación y Cultura y 038.321- HA041/99 de la Universidad del País Vasco. pp. 3-5.
- Alcalde J., T. Wheeler and R. Summerfield. 2000. Genetic characterization of flowering of diverse cultivars of pea. *Agronomy Journal* 92(4): 772-779.
- Bretag, T. and M. Ramsey. 2001. Foliar diseases caused by fungi: *Ascochyta* spp. p. 24-28. In: Kraft, J.M. y F.L. Pflieger (eds.). *Compendium of pea diseases and pests*. Second edition. 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.
- Corporación Colombia Internacional. CCI 2000. Manual del exportador de frutas, hortalizas y tubérculos en Colombia, <http://www.cci.org.co/>; consulta: marzo 2009
- Díaz, B., E. Cruces y A. Morillas. 1997. Las regiones europeas: una tipología basada en la aplicación de técnicas multivariantes. *Revista Asturiana de Economía* 10:249-265.
- Escofier, B. y J. Pagès. 1992. Análisis factoriales simples y múltiples: Objetivos métodos e interpretación. Servicio editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao, España. p. 66-67; 117-178.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas – Fenalce. 2002. Documento interno. Estadísticas de producción nacional. Bogotá, Colombia. p. 1.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). 2004. Conocimiento técnico: amarillamiento en arveja. En: http://www.Fenalceorg.c_Cuotas.htm; consulta: diciembre 2009.
- Gallego, C. 2005. Avance en la selección de poblaciones de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Bola Roja por su reacción a la enfermedad Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 35 p.
- Gómez, G.H. 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 en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 75 p.
- González, F. y G.A. Ligarreto. 2006. Rendimiento de ocho genotipos promisorios de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) bajo sistema de agricultura protegida. *Fitotecnia Colombiana* 6(2):5 2-61.
- Gower, J.C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27(4): 857-874.
- Gritón, E.T. 1983. Field pea. p. 347-356. In: Fehr, W.R. and H.H. Handley, (eds.). *Hybridization of crop plants*. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. p. 2-25. En: Franco L. y R. Hidalgo

- (eds.). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Cali, Colombia. Boletín Técnico 8. 90 p.
- Khvostova, V.V. 1983. Genetics and breeding of peas. USDA; National Science Foundation. New Delhi. p. 12-96.
- Kraft, J.M. y F.L. Pflieger. 2001. Compendium of pea diseases and pests. 2nd 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.). Ciencia e Investigación Agraria: Revista Latinoamericana de Ciencias de la Agricultura 30(1): 15-25.
- Ligarreto, G.A. 1999. Estrategias de caracterización para el conocimiento de la variabilidad genética en colecciones de germoplasma vegetal. Documento interno, Programa de Recursos Genéticos Vegetales, CORPOICA, C.I. Tibaitatá. 10 p.
- Ligarreto, G.A. 2001. Variabilidad genética en frijól común (*Phaseolus vulgaris* L.): II. Análisis de marcadores morfológicos y agronómicos cualitativos y cuantitativos. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. p. 35-36.
- López, J. y G.A. Ligarreto. 2006. Evaluación por rendimiento de 12 genotipos promisorios de frijól voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) tipos Bola Roja y Reventón para las zonas frías de Colombia. Agronomía Colombiana 24(2):238-246.
- Medina, C., M. Escobar y M. Lobo. (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/sfds/CD/textes/pages1.pdf>; consulta: octubre 2009.
- Prasad, P.V.V., K.J. Botte, L. Hartwell, A.J.R. Thomas. 2002. Effects of elevated temperature and carbon dioxide on seed-set and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Global Change Biology 8(8): 710-721.
- 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 Pathology 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 *Micosphaerella pinodes* on pea (*Pisum sativum*) seedlings. Plant Pathology. 48: 10-18.
- Schoonhoven, A. y M. Pastor-Corrales. 1991. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijól. CIAT, Cali, Colombia. 56 p.
- Tamayo, P. 2000. Enfermedades del cultivo de la arveja en Colombia: guía de reconocimiento y control. Convenio: CORPOICA, Fenalce, Corpocebada. Boletín Técnico. Corpoica, Rionegro, Colombia. p. 11-12.
- Timmerman-Vaughan, G. T. Frew, A. Russell, T. Khan, R. Butler, M. Gilpin, S. Murray and K. Falloon. 2002. QTL mapping of partial resistance to field epidemics of ascochyta blight of pea. Crop Science 42: 2100-2111.
- Union Europea. 2003. Protocol for distinctness, uniformity and stability tests *Pisum sativum* L. *Sensu lato* pea. Adopted on 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 2009.
- Union Internationale pour la Protection des Obtentions Vegetales – UPOV. 1996. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability TG/7/9 + CORR. En: UPOV, http://www.upov.int/en/publications/tg-rom/tg007/tg_7_9.pdf; consulta: noviembre 2009
- Warkentin, T., K. Rashid and A. Xue. 1995. Fungicidal control of ascochyta blight of field pea. Canadian Journal of Plant Science 76: 67–71.
- Zhang, R.S. Hwang, K. Chang, B. Gossen, S. Strelkov, G. Turnbull and S. Blade. 2006. Genetic resistance to *Mycosphaerella pinodes* in 558 field pea accessions. Crop Science 46: 2409-2414.
- Zhang, R.S. Hwang, B. Gossen, K. Chang and G. Turnbull. 2007. A quantitative analysis of resistance to *Mycosphaerella* blight in field pea. Crop Science 47: 162-167.