

Resistencia a oídio (*Erysiphe polygoni*) y rendimiento en arveja afila (*Pisum sativum* L.)

Resistance to powdery mildew (*Erysiphe polygoni*) and yield on afila pea (*Pisum sativum* L.)

Oscar Checa^{1*}, Marino Rodríguez².

Recibido para publicación: Junio 18 de 2015 – Aceptado para publicación: Noviembre 20 de 2015

RESUMEN

En los últimos cinco años en el departamento de Nariño se observa incremento de la severidad del ataque de oídio (*Erysiphe polygoni*) en arveja que produce pérdidas en rendimiento entre un 20 y un 40%. Las variedades mejoradas presentan susceptibilidad al patógeno. La investigación se realizó en la granja Lope del SENA, Pasto, Colombia. En la primera fase, se evaluaron 90 materiales de arveja (*Pisum sativum*) con el gen afila por rendimiento y reacción al oídio (*Erysiphe polygoni*) bajo condiciones de inoculo natural. Las líneas evaluadas se obtuvieron por cruzamientos simples y retrocruzamientos entre los parentales Andina, San Isidro y Sindamanoy y los genotipos donantes del gen afila: Dove, ILS3568 e ILS3575. Se utilizó un diseño de bloques al azar aumentado. Se encontró que 10% de los materiales fueron resistentes a oídio, 20% moderadamente resistentes, 60% moderadamente susceptibles y 10% susceptibles. De estos materiales se seleccionaron 19 genotipos resistentes, y moderadamente resistentes y de mayor rendimiento, los cuales fueron evaluados en la segunda fase por rendimiento y sus componentes. Para rendimiento en vaina verde y en grano seco el 84% y el 68,4% de las líneas evaluadas tuvieron promedios similares a los testigos comerciales Andina y Sindamanoy. Las líneas seleccionadas con el gen afila recuperaron en un 88,42% las características de rendimiento y sus componentes de los progenitores Andina, San Isidro y Sindamanoy.

Palabras clave: Genotipos, gen recesivo, retrocruzamientos, patógeno, severidad.

ABSTRACT

In the past five years in the department of Nariño, the increase in severity of damage produced by oídio (*Erysiphe polygoni*) in vetch has been observed, which produces loss of yield crop between 20 and 40%. The improved varieties present susceptibility to the pathogen. This research was conducted in SENA's Lopez Farm in Pasto - Colombia, in two phases. In the first phase, 90 lines of pea were evaluated (*Pisum sativum* L.) along with the gen afila for yield and reaction to powdery mildew (*Erysiphe polygoni*) under natural inoculate conditions. The assessed lines were obtained by simple crosses and backcrosses between the parentals Andina, San Isidro, and Sindamanoy, and the donor genotypes of the afila gen: Dove, ILS3568 and ILS3575. A random augmented blocks design was used. Results showed that 10% of the materials were resistant to powdery mildew, 20% were moderately resistant, 60% were moderately susceptible, and 10% were susceptible. From these materials, 19 resistant and moderately resistant genotypes with the highest yield were selected, which were assessed in the second phase for yield and components. For green pod yield and dry grain, 84% and 68.4% of the tested lines reached similar averages than those in the commercial controls Sindamanoy and Andina. The selected lines with the gen afila recovered 88.42% of the yield and yield components from their parents Andina, San Isidro, and Sindamanoy.

Key words: Genotype, recessive gene, backcrossing, pathogen, severity.

¹ Ph.D. Profesor asociado Universidad de Nariño FACIA. Correo electrónico: cicagrarias@hotmail.com

² M.Sc. Profesor hora cátedra Universidad de Nariño. FACIA

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) se cultiva desde los 1.700 a 3.100 metros de altura, siendo uno de los cultivos más importantes en Nariño por su capacidad de adaptación, alto potencial de rendimiento y por la posibilidad de cosechar en vaina verde o en grano seco (Sañudo et al. 1999). El área del cultivo en este departamento en la actualidad se ha incrementado a 15.816 ha (DANE 2011). Se siembran las variedades mejoradas Andina, Sindamanoy, San Isidro, Alcalá y Sureña. Uno de los limitantes de la producción de arveja voluble hace referencia a los altos costos de tutorado que corresponden al 52% del total del cultivo. Las variedades utilizadas presentan hábito voluble y alcanzan entre 2,5 y 3 m de altura lo cual encarece el proceso de tutorado (Pantoja et al. 2014). Como alternativa para modificar la arquitectura de estas plantas, el programa de mejoramiento de arveja de la Universidad de Nariño, ha introducido en las variedades volubles el gen afila que reemplaza hojas por zarcillos mediante el método de retrocruzamiento, con lo cual se pretende dar mayor posibilidad de adherencia a las plantas, sobre los tutores de polipropileno para evitar el acame de las mismas que es frecuente cuando la carga llega al estado de llenado de grano. El gen afila es recesivo y conduce a la expresión fenotípica solamente si se presenta en combinación homocigota (*afaf*) y se expresa con la transformación de hojas en zarcillos (Kujala 1953; Hedley y Ambrose 1981; Marx 1987; Prohens y Nuez 2007; Singh et al. 2013). De otra parte, el cultivo de la arveja durante las épocas de verano es afectado por la cenicilla, oídio o mildiú polvoroso, enfermedad que reduce el rendimiento en un 20 y 44% (Tamayo 2000) en todas las zonas productoras de Colombia. El hongo *Eryshipe poligoni* afecta hojas, vainas y tallos en todos los estados de desarrollo del cultivo. *Oidium* sp., que es el estado anamorfo de *Eryshipe poligoni*, se asocia a *Phoma medicaginis* var. *pinodella* en cultivos densos. Las variedades mejoradas de arveja que se cultivan, tales como Andina, San

Isidro y Sindamanoy presentan susceptibilidad frente a este patógeno.

La presente investigación tuvo como primer objetivo evaluar 90 líneas de arveja con el gen afila, que hacen parte de la colección de trabajo del grupo de investigación en Cultivos Andinos de la Universidad de Nariño, para identificar genotipos promisorios con resistencia a oídio (*Eryshipe poligoni*) y alto rendimiento. La segunda parte de esta investigación, se llevó a cabo con 20 materiales seleccionados en la primera fase para evaluar su comportamiento productivo a través de sus componentes de rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la granja Lope perteneciente al Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, ubicada a 2.650 msnm con una temperatura promedio de 13 °C y una precipitación promedio anual 700 mm.

Fase 1. Evaluación de 90 líneas de arveja con el gen afila seleccionadas por su reacción a oídio (*Eryshipe poligoni*) y alto rendimiento.

El material genético evaluado correspondió a 90 líneas de arveja voluble (*Pisum sativum* L.) con el gen afila, de hábito de crecimiento indeterminado, obtenidas por cruzamientos y retrocruzamientos entre las variedades mejoradas Sindamanoy, San Isidro y Andina y los genotipos donantes del gen afila ILS3575, ILS3568 y Dove. Estas líneas hacen parte de la colección de trabajo del Grupo de Investigación en Cultivos Andinos (GRICAND) de la Universidad de Nariño.

De las 90 líneas evaluadas el 52,2% se obtuvieron de cruzamientos simples que se avanzaron a generación F5; dentro de estas, el 15,56% provenían del cruzamiento Sindamanoy x ILS3575, el 15,56% de San isidro x Dove, el 17,7% de Andina x Dove y el 3,3% de San Isidro x ILS3568.

El 37,7% fueron obtenidas por retrocruzamiento (RC1) entre variedades mejoradas y padres donantes del gen afila así: 3,3% de Andina x Dove, 8,8% de San Isidro x Dove, 10% de Sindamanoy x ILS3568, 10% Sindamanoy x ILS3575 y 5,5% de Sindamanoy x Dove.

El 5,5% de las líneas restantes provenían de un segundo retrocruzamiento (RC2) realizado entre Andina x Dove.

Se utilizó un diseño de bloques aumentados, aplicable como en este caso, cuando no hay suficiente cantidad de semilla del material a evaluar para hacer repeticiones, excepto para los testigos comerciales Andina, San Isidro y Sindamanoy. Se establecieron 10 bloques compuestos por nueve líneas cada uno y tres testigos. La unidad experimental correspondió a un surco de 3,0 m con 30 plantas. El área útil de la parcela se obtuvo descartando las plantas exteriores de los surcos.

Las variables evaluadas fueron reacción a oidio causada por *Erysiphe polygoni*, y rendimiento en verde. La reacción a oidio se efectuó en la época de la cosecha en vaina verde, evaluando la severidad de la enfermedad (Porcentaje del área foliar afectada), tomando en tres plantas de cada genotipo una hoja de la parte inferior, media y superior. Para calificar la enfermedad se utilizó la escala de severidad de Falloon et al. (1995), con niveles de 1 a 5 (Figura 1).

El rendimiento (RTO) se evaluó cuando las plantas alcanzaron su madurez de cosecha en vaina verde, registrando la producción kg/ parcela y llevando el resultado a Kg ha⁻¹. El rendimiento y sus componentes se analizaron mediante el análisis de varianza correspondiente al diseño utilizado y comparación de medias de Tukey al 95% de probabilidad, usando el programa GENES (CRUZ 2001).

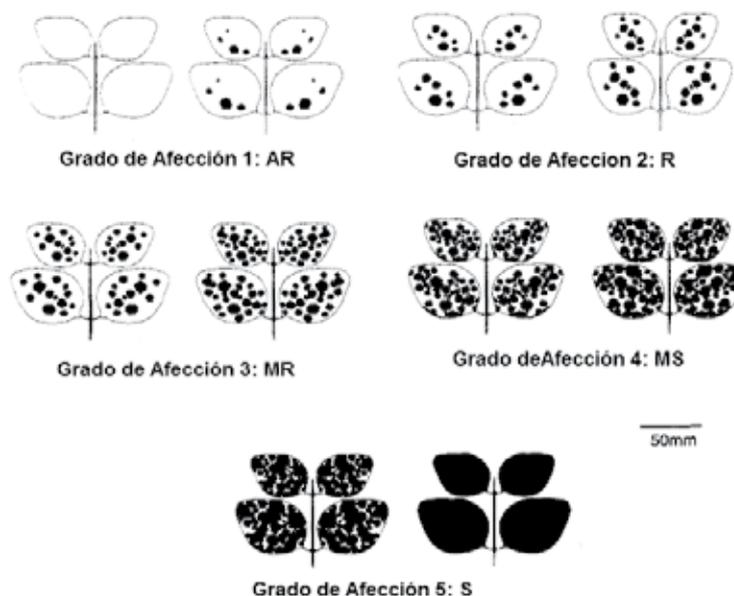


Figura 1. Escala de severidad para estimar daños causados por oidio (*Erysiphe polygoni*) en arveja. En donde: **1** = AR altamente resistente. Sin evidencia visible de la enfermedad o presencia de lesiones pequeñas del 1 al 10% del área foliar afectada, **2** = R resistente. Del 11 al 25% del área foliar afectada, **3** = MR moderadamente resistente. Del 26 al 50% del área foliar afectada, **4** = MS moderadamente susceptible. Del 51 al 75% del área foliar afectada, **5** = S susceptible. Del 76 al 100% del área foliar afectada.

Fase 2. Evaluación de 20 líneas con el gen afila seleccionadas por su resistencia a oídio y componentes de rendimiento.

De los 90 materiales de la primera fase se seleccionaron 20 genotipos, teniendo como criterio su reacción de resistencia a oídio (grado 2) y los materiales moderadamente resistentes (grado 3) que mostraron los mayores rendimientos. Se descartaron los materiales de grado 3 y de bajo rendimiento, además de los de grado 4 moderadamente susceptible y grado 5 susceptible.

El material genético evaluado en la segunda fase correspondió a los testigos Andina y Sindamanoy y a las siguientes líneas de arveja voluble (*Pisum sativum* L.): S1xDF52, S1xDF513, Sx3575RC1x1, SX3568RC231, Sx3575F51, S1xDRC151, Sx3575RC18, S1xDRC183, Sx3575F53, S1xDRC148, S1xDF51, Sx3575F56, S1xDF58, S1xDRC129, S1xDRC1100, Sx3568F52, Sx3575RC11, Sx3568RC221, SxDRC145, y SxDRC116.

En esta fase se evaluaron los siguientes componentes de rendimiento: Número de plantas por surco (NPS), Número de vainas por planta (NVP), Peso de la vaina con grano (PGV). Número de granos por vaina (NG), Peso de grano por vaina (PG), Relación grano vaina (RGV), rendimiento (RTO) en vaina verde y rendimiento en seco. Se trabajó con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por dos surcos de 3 m de largo a una distancia entre surcos de 1 m y 0,1 m entre plantas, para un área de parcela de 6 m². Se

utilizó como testigos las variedades Andina y Sindamanoy. Se descartaron las plantas de los extremos de los surcos, de tal forma que el área útil fue de 2,80 x 2 m dando un área de 5,6 m². Se sembraron los 20 materiales seleccionados con el gen afila, de los cuales el genotipo SxDRC116 se perdió en todas las repeticiones, probablemente debido a problemas de humedad en su semilla, por tanto el análisis correspondió a 19 líneas y dos testigos.

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de covarianza, teniendo en cuenta que en un análisis previo de varianza se observó diferencias en la variable número de plantas por surco (NPS), constituyéndose en una covariable que incidió en los valores de rendimientos en verde y en seco y en los demás componentes de rendimiento. Para las variables que mostraron significancia, se realizó la comparación de medias de Tukey al 0,05 de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase 1. Evaluación de 90 líneas por reacción a oídio y rendimiento.

El análisis de varianza (Tabla 1) indica que hubo diferencias estadísticas entre genotipos para la variable rendimiento en vaina verde a un P valor < 0.01. En la Tabla 2 se puede apreciar los genotipos ordenados en primera instancia por su reacción a oídio (*Erysiphe polygoni*) del grado 2 al 5 y dentro de los grados de resistencia se ordenaron por el promedio de rendimiento y su comparación con los testigos Andina, San Isidro y Sindamanoy.

Tabla 1. Análisis de varianza del rendimiento de 90 líneas de arveja con el gen afila.

Fuente de Variación	G.L.	CM	F	P valor
Bloques	9	0,8662	1,79	0.1412
Testigos	3	22,0317	45,41	< 0.0001
genotipos (Testigos)	89	2,0726	4,27	0.0005
Error	18	0,4852		
R² = 0,9676		CV = 24,39%		

Tabla 2. Reacción a oidio (*Erysiphe polygoni* DC) y comparación de promedios de rendimiento en vaina verde de 90 genotipos en relación con tres variedades comerciales de Arveja (*Pisum sativum* L.).

Genotipo	Reacción a oidio	Rendimiento promedio Kg ha ⁻¹	Andina 4.325 Kg ha ⁻¹	San Isidro 3.634 Kg ha ⁻¹	Sindamanoy 4.365 Kg ha ⁻¹
SX3575F51	2*	5.755	Ns	**	Ns
SIXDRC129	2	3.235	Ns	Ns	Ns
SX3575F53	2	2.685	Ns	Ns	Ns
SX3575F56	2	2.411	*	Ns	*
SXDRC145	2	2.378	*	Ns	*
SX3575RC11	2	2.368	*	Ns	*
SIXDRC1100	2	1.401	***	*	**
SIXDF58	2	1.278	***	*	**
SX3568RC221	2	0,781	***	**	***
SIXDF51	3	8.868	***	***	***
SIXDF52	3	7.878	***	***	***
SX3568F52	3	5.748	Ns	*	Ns
SIXDRC151	3	5.241	Ns	Ns	Ns
Sx3568RC231	3	4.888	Ns	Ns	Ns
SIXDF513	3	3.721	Ns	Ns	Ns
SXDRC116	3	3.638	Ns	Ns	Ns
SX3575RC18	3	3.478	Ns	Ns	Ns
SX3575RC1X1	3	3.425	Ns	Ns	Ns
SIXDRC148	3	3.418	Ns	Ns	Ns
SIXDRC183	3	3.398	Ns	Ns	Ns
SX3568RC158	3	3.341	Ns	Ns	Ns
SX3568RC167	3	3.328	Ns	Ns	Ns
SX3568RC117	3	3.228	Ns	Ns	Ns
SX3568RC140	3	2.445	*	Ns	*
SX3568F53	3	2.095	*	Ns	*
SX3575F512	3	0,838	***	**	***
SIXDRC134	3	0,601	***	**	***
SX3575RC19	4	5.141	Ns	Ns	Ns
SX3568F55	4	4.428	Ns	Ns	Ns
SIXDF57	4	4.241	Ns	Ns	Ns
SXDRC118	4	4.125	Ns	Ns	Ns
ANXDF511	4	3.491	Ns	Ns	Ns
SX3575F510	4	3.391	Ns	Ns	Ns
SX3575RC118	4	3.345	Ns	Ns	Ns
SX3575RC120	4	3.345	Ns	Ns	Ns
SX3575F516	4	3.245	Ns	Ns	Ns
SX3568RC11	4	3.118	Ns	Ns	Ns
ANXDF56	4	2.955	Ns	Ns	Ns
AXDRC23	4	2.898	Ns	Ns	Ns
SX3568RC17	4	2.888	Ns	Ns	Ns
AXDRC111	4	2.781	Ns	Ns	Ns
SIXDRC166	4	2.621	Ns	Ns	*
AXDRC215	4	2.611	Ns	Ns	*
SX3575F514	4	2.605	*	Ns	*
AXDRC1100	4	2.581	*	Ns	*
ANDXDF54	4	2.541	*	Ns	*

Genotipo	Reacción a oídio	Rendimiento promedio Kg ha ⁻¹	Andina 4.325 Kg ha ⁻¹	San Isidro 3.634 Kg ha ⁻¹	Sindamanoy 4.365 Kg ha ⁻¹
SIXDF54	4	2.441	*	Ns	*
SXDRC156	4	2.391	*	Ns	*
SIXDF59	4	2.365	*	Ns	*
AXDRC130	4	2.348	*	Ns	*
SIXDF514	4	2.248	*	Ns	*
SX3568RC19	4	2.178	*	Ns	*
ANXDF513	4	2.155	*	Ns	*
SX3575RC111	4	2.155	*	Ns	*
SIXDF512	4	2.141	*	Ns	*
ANXDF517	4	2.038	*	Ns	*
SIXDF510	4	2.028	*	Ns	*
SX3568RC166	4	2.028	*	Ns	*
SX3575F511	4	1.975	*	Ns	**
SIXDF55	4	1.945	**	Ns	**
SX3575F58	4	1.915	**	Ns	**
SIXDF53	4	1.885	**	*	**
SX3568RC2100	4	1.885	**	*	**
AXDRC214	4	1.848	**	*	**
SXDOVERC182	4	1.845	**	*	**
ANXDF510	4	1.678	**	*	**
SX3568RC128	4	1.608	**	*	**
ANXDF515	4	1.508	**	*	**
SX3575F57	4	1.401	**	*	**
SIXDF56	4	1.355	**	*	**
SIXDRC154	4	1.338	**	*	**
AXDRC24	4	1.331	**	*	**
SX3575F515	4	1.261	**	**	**
ANDXDF53	4	1.211	**	**	**
SX3575F52	4	1.168	**	**	**
ANDXDF514	4	0,998	***	**	***
ANXDRC21	4	0,941	***	**	***
SX3575F59	4	0,928	***	**	***
AXDRC25	4	0,895	***	**	***
ANXDF516	4	0,881	***	**	***
SX3575F517	4	0,828	***	**	***
AXDOVEF518	5	0,728	***	**	***
SIXDF511	5	0,725	***	**	***
ANXDF512	5	0,665	***	**	***
ANXDF59	5	0,521	***	**	***
SX3575RC112	5	0,415	***	***	***
SX3575RC113	5	0,378	***	***	***
ANXDF58	5	0,358	***	***	***
ANXDF51	5	0,499	***	***	***
ANDXDF55	5	2.805	Ns	Ns	Ns

Escala de calificación de oídio: **1** = AR altamente resistente. **2** = R resistente., **3** = MR moderadamente resistente. **4** = MS moderadamente susceptible. **5** = S susceptible.

Ns = diferencias no significativas

* = diferencias estadísticas con un P valor de 0.05

** = diferencias estadísticas con un P valor de 0.01

*** = Diferencias estadísticas con un P valor de 0.001

El 10% de los genotipos presentaron una reacción con un grado 2 resistente a oidio (*Erysiphe polygoni*) y están en un rango de rendimiento entre 751 y 5.755 Kg ha⁻¹. Dentro de ellos, el material SX3575F51 con un rendimiento de 5.755 Kg ha⁻¹ superó significativamente al testigo San Isidro con 3.634 Kg ha⁻¹ y fue similar a Andina y Sindamanoy (Tabla 2). Los materiales SIXDRC129 con 3.235 Kg ha⁻¹ y SX3575F53 con 2.685 Kg ha⁻¹ fueron similares a los testigos. Por el contrario, el genotipo SIXDRC1100 con 1.401 Kg ha⁻¹ y aquellos con rendimientos inferiores fueron significativamente menores que los testigos.

El 20% de los materiales presentaron un grado de reacción 3 o moderadamente resistentes a oidio (*Erysiphe polygoni*) y se encuentran en un rango de rendimiento entre 601 y 8.868 Kg ha⁻¹. El material SIXDF51 con un promedio de 8.868 Kg ha⁻¹ y el material SIXDF52 con un promedio de 7.878 Kg ha⁻¹ superaron en rendimiento a los tres testigos comerciales. El genotipo SX3568F52 con 5.748 Kg ha⁻¹ superó en rendimiento al testigo San Isidro, mientras que los genotipos con rendimientos entre 5.241 y 3.228 Kg ha⁻¹ correspondientes a las líneas SIXDRC151, Sx3568RC231, SIXDF513, SXDRC116, SX3575RC18, SX3575RC1X1, SIXDRC148, SIXDRC183, SX3568RC158, SX3568RC167, y SX3568RC117, fueron similares a los testigos.

Los genotipos que mostraron rendimientos menores a 2.445 Kg ha⁻¹ resultaron inferiores que Andina y Sindamanoy y similares a San Isidro. Rendimientos menores a 2.095 Kg ha⁻¹ fueron estadísticamente menores a los tres testigos.

Los materiales con grado 4 moderadamente susceptibles a oidio, constituyen el 60% del total y presentaron rendimientos en el rango entre 5.141 y 828 Kg ha⁻¹. Dentro de estos, los materiales SX3575RC19, SX3568F55, SIXDF57, SXDRC118, ANXDF511, SX3575F510,

SX3575RC118, SX3575RC120, SX3575F516, SX3568RC11, ANXDF56, AXDRC23, SX3568RC17 y AXDRC111, con rendimientos entre 5.141 y 2.781 Kg ha⁻¹ fueron similares a los testigos, El 10% de los genotipos evaluados fueron los del grado 5 susceptibles a oidio, con rendimientos entre 2.805 y 728 Kg ha⁻¹, no solo fueron susceptibles a la enfermedad, sino que también presentaron los menores rendimientos, diferentes estadísticamente a los testigos comerciales Andina y Sindamanoy y San Isidro.

Los materiales con grado 2 fueron seleccionados por su resistencia a la enfermedad, mientras que, de los materiales con grado 3 (moderadamente resistentes) se seleccionaron los de mejor rendimiento que superaron o fueron similares a los testigos, para su evaluación posterior en la segunda fase. Los esfuerzos por encontrar genotipos con el gen afila con características deseables han aumentado en los programas de mejoramiento de arveja. Se prevé un incremento en el mejoramiento por resistencia múltiple para genotipos con el gen afila con granos lisos. En estos nuevos programas las arvejas tipo afila resistentes a mildiú polvoso u oidio y con alto potencial de rendimiento, serán utilizadas como nuevas fuentes para obtener de arvejas con este tipo de hoja transformada (afila) y con múltiple resistencia a mildiú polvoso, pudriciones de raíces e infecciones por virus (Ondrej et al. 2003).

Fase 2. Evaluación de 20 líneas de arveja con el gen afila

El análisis de covarianza (Tabla 3), mostró diferencias significativas entre genotipos para las variables largo de vainas (LV), número de granos por vaina (NGV), rendimiento en vaina verde (Rendverde), rendimiento en grano seco (Rendseco) y relación grano vaina (RGV/conG).

En la variable largo de vainas (LV), los genotipos oscilaron entre 9,13 y 6,94 cm. El 89,5% de las líneas afila presentaron longitud de vaina similar

Tabla 3. Cuadrados medios del análisis de covarianza para número de vainas por planta (NVP), número de granos por vaina (NGV), largo de vaina (LV), rendimiento en verde (Rendverde), rendimiento en grano seco (Rendseco) y relación grano /vaina con grano (RGVconG), en la evaluación de 19 líneas seleccionadas de arveja con el gen afila.

F. Variación	G.L.	NVP	LV	NGV
Modelo	23	44,10	0,60	1,83 *
Bloques	2	32,95	0,48	1,78
Genotipo	20	39,10	0,65 ***	1,79 *
NPS	1	257,47	0,66 *	1,03
Error	39	73,80	0,11	0,69
R²		0,88	0,76	0,61
CV		18,99	4,07	14,81
F. Variación	G.L.	Rendverde	Rendseco	RGVconG
Modelo	23	3469024,35	574300,68	0,01 ***
Bloques	2	934647,86	21598,18	0,01
Genotipo	20	1300829,92 **	204317,85 ***	0,01 ***
NPS	1	3587838,53	707129,33	0,00012
Error	39	517546,31	45123,12	0,00026
R²		0,80	0,88	0,74
CV		24,83	18,9	7,71

a los testigos Andina y Sindamanoy dentro de un rango de 9,13 hasta 7,79 cm. La línea S1xDF52 con 9,13 cm, superó al 42% de los materiales evaluados que presentaron un rango entre 8,08 y 6,94 cm (Tabla 4). Los resultados demuestran que la selección realizada de las líneas, que buscaba encontrar genotipos que además de presentar el gen afila, recuperaran las características favorables de las variedades comerciales San Isidro y Sindamanoy, ha cumplido con el objetivo en esta variable.

Para número de granos por vaina, los promedios de las líneas evaluadas oscilaron entre 6,95 y 4,22, siendo estadísticamente similares a las variedades Andina y Sindamanoy que tuvieron 5,48 y 5,43 granos por vaina, respectivamente. Sobresale la línea Sx3575RC11 con 6,95 granos por vaina, que superó al 20% de los materiales evaluados con promedios entre 4,72 y 4,22

(Tabla 4). Tulcán y Castillo (1998) sugieren que el número de granos por vaina es un carácter cuya expresión es altamente heredable. El comportamiento de las medias para esta característica estuvo dentro del rango reportado por Khan et al. (2013) quienes encontraron variaciones entre 4,0 y 8,5 granos por vaina. Cuando el NGV se sitúa entre tres y cuatro, se considera bajo, medio entre cinco y seis y alto mayor de seis (Biddle et al. 1988). De acuerdo con esta clasificación, siete de las líneas se ubicaron en las de alto número de granos por vaina, ocho fueron intermedias y las cuatro restantes presentaron promedio bajo. El NGV, es uno de los componentes de rendimiento más importantes en el mejoramiento genético de arveja para el caso de Colombia, donde más del 90% de la producción de arveja se destina al mercado de vaina verde (Pantoja et al. 2014). Lo deseable es un número igual o

Tabla 4. Promedios de las variables, largo de vainas (LV) y número de granos por vaina (NGV), comparados mediante la prueba de Tukey en la evaluación por componentes de rendimiento de 19 líneas de arveja con el gen afila. San Juan de Pasto, marzo 2015.

Largo de Vainas (LV)			Número de granos por vaina (NGV)		
Genotipo	MEDIA		Genotipo	MEDIA	
SlxDF52	9,13	A	Sx3575RC11	6,95	A
SlxDRC1100	8,90	A B	SlxDRC183	6,65	A B
SlxDF513	8,83	A B C	SlxDRC129	6,33	A B
Sx3568F52	8,69	A B C	SlxDRC151	6,30	A B
Sx3575RC11	8,64	A B C	Sx3568RC221	6,26	A B
Sx3575RC1x1	8,60	A B C	Sx3575F51	6,24	A B
ANDINA	8,54	A B C	Sx3575F53	6,23	A B
SlxDRC151	8,49	A B C	Sx3575RC1x1	6,12	A B
SINDAMANOY	8,34	A B C	SlxDRC148	5,68	A B
Sx3575RC118	8,27	A B C	SlxDRC1100	5,66	A B
Sx3568RC221	8,25	A B C	Sx3575RC118	5,58	A B
SxDRC145	8,12	A B C	ANDINA	5,48	A B
Sx3575F51	8,09	A B C	Sx3575F56	5,44	A B
SlxDF51	8,08	B C	SlxDF58	5,44	A B
SX3568RC231	8,00	B C	SINDAMANOY	5,43	A B
SlxDRC183	7,99	B C	SxDRC145	5,29	A B
SlxDRC129	7,87	B C D	SlxDF52	5,16	A B
SlxDF58	7,82	C D	SX3568RC231	4,72	B
Sx3575F56	7,79	C D	SlxDF513	4,31	B
SlxDRC148	7,45	D	Sx3568F52	4,23	B
Sx3575F53	6,94	D	SlxDF51	4,22	B
DMS = 1,04			DMS = 2,59		

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

superior a seis granos por vaina, pero la mejora genética es difícil dado que hay mecanismos de compensación en los componentes de rendimiento, de tal forma que si se aumenta las semillas por vaina, se puede disminuir el número de vainas por planta o el peso de la semilla (Tiemerman et al. 2004; Ligarreto et al. 2009). La herencia del número de granos por vaina es un problema complejo siendo controlada por varios genes (Gotschalk 1964). Las vainas puntiagudas tienen mayor potencial para presentar más alto número de vainas por planta (Marx y Mishanec 1962, 1967). Según Krarup y Davis (1970), hay un impacto acumulativo de un número de genes recesivos contribuyendo a esta propiedad que la hacen característica de herencia cuantitativa.

En la variable rendimiento en vaina verde (Rendverde) el 84,21% de las líneas evaluadas con el gen afila, correspondientes a SlxDF52, SlxDF513, Sx3575RC1x1, SX3568RC231 Sx3575F51, SlxDRC151, Sx3575RC118, SlxDRC183, Sx3575F53, SlxDRC148 SlxDF51, Sx3575F56, SlxDF58, SlxDRC129, SlxDRC1100, y Sx3568F52, presentaron rendimientos entre 3.250 y 2.045 Kg ha⁻¹, estadísticamente similares a los testigos Sindamanoy y Andina que alcanzaron promedios de 4.230 y 4.173 Kg ha⁻¹ respectivamente (Tabla 5). Dentro del 84,21% antes mencionado, están incluidos nueve genotipos que proceden del parental San Isidro los siete restantes del parental Sindamanoy. De igual manera, dentro de este grupo de líneas, siete de ellas se originaron por

un primer retrocruzamiento, una de un segundo retrocruzamiento y ocho de cruzamientos simples llevados hasta generación F5 por selección masal. La participación de los padres donantes del gen afila, en estas 16 líneas con el gen afila que lograron igualar a los testigos, corresponde a nueve del parental Dove, cinco de ILS3575 y dos de ILS3568.

Dada la condición afila de las líneas evaluadas producida por un gen mutante que reemplaza hojas por zarcillos (Goldenberg 1965), la cual contrasta con los testigos de hojas normales, y considerando que los padres donantes del gen afila son plantas arbustivas y los padres recurrentes usados en los retrocruzamientos

son variedades volubles, el objetivo inicial de los cruzamientos realizados se ha cumplido al encontrar líneas que teniendo dicho gen (afila), producen rendimientos similares a variedades comerciales en este caso Andina y Sindamanoy. Además estas líneas presentan la reacción entre resistente y moderadamente resistente al patógeno *Erysiphe polygoni*. Por otra parte, las ocho líneas en generación F5 que hacen parte del grupo de mejor comportamiento, fueron el resultado de recombinaciones de genes favorables presentes en los progenitores que las originaron y que permitieron mantener rendimientos aceptables además de presentar la característica del incremento de zarcillos aportado por el gen afila.

Tabla 5. Promedios de las variables, rendimiento en vaina verde (Rendverde) y rendimiento en grano seco (Renseco) comparados mediante la prueba de Tukey en la evaluación por componentes de rendimiento de 19 líneas de arveja con el gen afila, San Juan de Pasto, marzo 2015.

Rendverde			Rendseco		
Genotipo	MEDIA		Genotipo	MEDIA	
SINDAMANOY	4230,26	A	S1xDRC183	1602,10	A
ANDINA	4173,82	A	ANDINA	1550,06	A B
S1xDF52	3867,16	A B	SINDAMANOY	1519,24	A B
S1xDF513	3830,12	A B	SX3568RC231	1456,93	A B C
Sx3575RC1x1	3486,45	A B	Sx3575RC1x1	1375,03	A B C D
SX3568RC231	3307,24	A B	Sx3575RC118	1365,90	A B C D
Sx3575F51	3272,59	A B	S1xDF52	1316,90	A B C D E
S1xDRC151	3250,81	A B	S1xDF513	1313,72	A B C D E
Sx3575RC118	3202,14	A B	Sx3575F51	1222,09	A B C D E F
S1xDRC183	3026,55	A B	S1xDRC151	1174,78	A B C D E F
Sx3575F53	2975,64	A B	S1xDRC148	1119,30	A B C D E F
S1xDRC148	2756,82	A B	Sx3575F56	1108,42	A B C D E F
S1xDF51	2754,25	A B	Sx3575F53	1071,00	A B C D E F
Sx3575F56	2717,07	A B	S1xDRC129	993,66	A B C D E F
S1xDF58	2437,39	A B	S1xDF51	900,36	B C D E F
S1xDRC129	2351,95	A B	S1xDF58	867,09	C D E F
S1xDRC1100	2066,86	A B	Sx3575RC11	772,54	C D E F
Sx3568F52	2045,86	A B	S1xDRC1100	728,48	D E F
Sx3575RC11	1774,81	B	Sx3568RC221	719,24	D E F
Sx3568RC221	1695,03	B	Sx3568F52	677,60	E F
SxDRC145	1623,54	B	SxDRC145	636,24	F
DMS(0.05) =	2247,04			663,49	

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Ninguna de las líneas presentó efectos de transgresión genética positiva para esta característica al no encontrar genotipos superiores a los testigos de alto rendimiento Andina y Sindamanoy. En la elección de variedades apropiadas de arveja debe tenerse en cuenta la productividad y la tolerancia al volcamiento. Esta última característica está muy relacionado con el tipo de hoja, pudiéndose encontrar variedades con foliolos abundantes y zarcillos poco desarrollados, afilas (sin foliolos y zarcillos muy desarrollados) o variedades semiafilas (intermedio entre los dos) (ITGA 2003). En general a mayor desarrollo del zarcillo, la resistencia al volcamiento es mayor (Wang et al. 2003). Las variedades de arveja tipo voluble como las utilizadas en Nariño (Colombia), que son de porte alto con follaje normal, que requieren la implementación de tutorado vertical y horizontal, para evitar el volcamiento y la proliferación de enfermedades foliares, aumentando los costos de producción que ascienden a \$8'300.000 (pesos colombianos, equivalentes a US\$2.370 dólares) por hectárea, de los cuales el 52% corresponden a los gastos por tutorado (Checa 2014). De allí la importancia de identificar genotipos de arveja de crecimiento indeterminado y con el gen afila que logren igualar o superar los rendimientos de las variedades de mayor uso en la región y que debido al incremento de los zarcillos aporten a evitar el acame de las plantas, disminuir los costos por tutorado, y mejorar la competitividad del cultivo.

Mihailovic et al. (2008), encontraron que cultivares con el gen afila no mostraron disminución de la actividad fotosintética presentando rendimientos incluso más altos en comparación con los cultivares de tipo hoja normal. Es probable que la condición afila en si misma no sea responsable de la disminución de rendimiento en las líneas que no lograron igualar a los testigos comerciales Andina y Sindamanoy, sino que existan otros genes involucrados que hagan parte del trasfondo

genético de los parentales que se utilizaron como donantes del gen afila y a partir de los cuales se generaron las líneas evaluadas.

Las líneas afila al reducir su follaje, puede verse menos afectadas por enfermedades foliares tal como lo afirman Mera et al. (1996), Giaconi (2004), Gonzáles (2001) y Prieto (2011). Pantoja et al. (2014), sugieren que en arvejas volubles, la reducción de área foliar de los genotipos afila, permiten soportar una mayor densidad de siembra lo cual puede contribuir a aumentar el rendimiento.

Para rendimiento en seco, el 68,42% de los materiales tuvieron promedios similares a los testigos Andina y Sindamanoy que alcanzaron 1.550,06 y 1.519,24 Kg ha⁻¹, y se identificaron como SlxDRC183, SX3568RC231, Sx3575RC1x1, Sx3575RC118, SlxDF52, SlxDF513, Sx3575F51, SlxDRC151, SlxDRC148, Sx3575F56, Sx3575F53, SlxDRC129, y SlxDF51 con promedios entre 1.602,1 y 900,36 Kg.ha⁻¹. Se destaca la línea SlxDRC183 que presentó 1.602.10 Kg ha⁻¹ y superó al 36,8% de las líneas evaluadas con rendimientos por debajo de 993,66 Kg ha⁻¹ (Tabla 5). Al comparar los resultados de las variables Rendverde y Rendseco se observa que en los genotipos que igualaron a los testigos Andina y Sindamanoy, hubo una coincidencia del 75%. Lo anterior confirma que entre los materiales evaluados hay un grupo de líneas con el gen afila que logran rendimientos estadísticamente similares a los testigos, lo cual sugiere que los zarcillos como hojas transformadas cumplen funciones de fotosíntesis y por la naturaleza de su estructura, contribuyen a mejorar la adherencia de la planta sobre los soportes usados para el tutorado.

En la relación grano/vaina con grano (RGVconG), todas las líneas evaluadas presentaron promedios similares a los testigos Andina y Sindamanoy dentro de un rango entre 0,77 y 0,51 (Tabla 6). La variable relación

Tabla 6. Promedios de las variable relación grano/vaina con grano (RGVconG, comparados mediante la prueba de Tukey en la evaluación por componentes de rendimiento de 19 líneas de arveja con el gen afila.

RGVconG	MEDIA				
SIxDRC183	0,77	A			
Sx3575RC11	0,75	A			
Sx3575F53	0,73	A	B		
SIxDRC129	0,72	A	B	C	
Sx3568RC221	0,72	A	B	C	
Sx3575F56	0,70	A	B	C	
SIxDRC148	0,70	A	B	C	
Sx3575RC1x1	0,69	A	B	C	
Sx3575F51	0,68	A	B	C	
SxDRC145	0,67	A	B	C	
Sx3575RC118	0,67	A	B	C	
SIxDF58	0,66	A	B	C	D
ANDINA	0,65	A	B	C	D
SX3568RC231	0,65	A	B	C	D
SIxDRC151	0,65	A	B	C	D
SIxDRC1100	0,63	A	B	C	D
SIxDF51	0,63	A	B	C	D
SINDAMANÓY	0,62	A	B	C	D
SIxDF52	0,57		B	C	D
SIxDF513	0,54			C	D
Sx3568F52	0,51				D
DMS = 0,1594					

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

grano/vaina con grano (RGVconG), es un importante factor que influye en la aceptación del producto en el mercado de arveja en vaina verde o en fresco. Una relación grano/vaina con grano (RGVconG), alta, significa que el mayor peso del producto se encuentra en el grano y no en la vaina, lo cual mejora su precio en el mercado. Las 19 líneas de arveja afila evaluadas cumplieron con esta condición. Los comerciantes de arveja fresca utilizan esta variable como un indicador que contribuye a definir el precio del producto. Esta variable se asociada con la parte útil para el consumo de esta leguminosa que corresponde al peso de los granos.

CONCLUSIONES

De las 90 líneas procedentes de cruzamientos simples y de retrocruzamientos de las variedades Andina, San Isidro y Sindamanoy con los genotipos donantes del gen afila Dove, ILS3568 e ILS3575, 10% fueron resistentes a oídio (*Erysiphe polygoni*), 20% moderadamente resistentes, 60% moderadamente susceptibles y 10% susceptibles.

En las 19 líneas evaluadas que presentan el gen afila y resistencia o moderada resistencia a oídio (*Erysiphe polygoni*), se encontró que para rendimiento en vaina verde y en grano seco el 84,21% y el 68,43%, alcanzaron promedios similares a los testigos comerciales Andina y Sindamanoy.

En la relación grano/grano con vaina, el 100% de las líneas afila lograron igualar a los testigos Andina y Sindamanoy, característica que las ubica dentro de los materiales con aceptación comercial. Las líneas con gen afila seleccionadas y evaluadas recuperaron las características de los padres comerciales Andina, San Isidro y Sindamanoy relacionadas con el rendimiento y sus componentes en un 88%.

REFERENCIAS

- Checa, O. 2014.** Investigación para el mejoramiento de la tecnología de producción de arveja (*Pisum sativum* L.) en el departamento de Nariño. En: http://www.ucc.edu.co/pasto/prensa/2014/Documents/1Resumen_Proyecto_L%C3%ADneas%20Arveja.pdf; consulta: noviembre, 2014.
- Cruz, C. 2001.** Programa GENES. Aplicativo computacional em genética e estadística. Editora UFV, Viçosa MG.642p.
- Dane, 2011.** Encuesta nacional agropecuaria. En <http://apps.who.int/fctc/reporting/>

party_reports/colombia_annex7_national_agricultural_survey.pdf. consulta : abril,2016.

Falloon, R., Viljanen-Rollinson, S., Coles, G. and Poff, J. 1995. Disease severity keys for powdery and downy mildews of pea, and powdery scab of potato, New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 23(1): 31-37

Giaconi, V. 2004. Cultivo de hortalizas. 15 ed. Santiago de Chile: Editorial Uversitaria. 120 p.

Goldenberg, J. 1965. "Afila" a new mutation in pea (*Pisum sativum* L.). Boletín Genética1: 27-28.

Gotschalk, w. 1964. Die wirkung mutierter gene auf di Morphologie und Funktion pflanzlicher Organe, *Botanische Studien*.

González, M. 2001. Interacción genotipo x ambiente en guisante proteaginoso (*Pisum sativum* L.). Tesis doctoral. Universidad de Valladolid: Departamento de Producción Vegetal y Silvopascicultura. 272 p.

Hedley, C. and Ambrose, M. 1981. Designing "leafless" plants for improving the dried pea crop. *Advances in Agronomy*. 34:225 - 227.

Instituto Técnico y de Gestión Agrícola de Navarra (ITGA). 2003. Guisante proteaginoso en Navarra, campaña 2003-2004.12 p.

Khan, T., Ramzan, G., Jillani, G. and Mehmood, T. 2013. Morphological performance of peas (*Pisum sativum* L.) genotypes under rainfed conditions of Potowar region. *Journal of Agricultural Research*. 51:51-60.

Kujala, V. 1953. Felderbse, beiwelcher die ganzBlattspreite in Ranken umgewandelt

ist. *Archivum.100 Societatis Zoologica e Botanica e Fennicae "Vanamo"* 8:44 - 45.

Ligarreto, M., Gustavo, A., Ospina, H. y Andrés, R. 2009. Análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum* L.) tipo Santa Isabel. *Agronomía Colombiana* 27(3):333 - 339.

Marx, G. A. and Mishanec, W. 1962. Inheritance of ovule number in *Pisum sativum*. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 80: 462-467.

Marx, G. and Mishanec, W. 1967. Further studies on the inheritance of ovule number in *Pisum*. *Crop Science* 3:236-239.

Marx, G. 1987. A suite of mutants that modify pattern formation in pea leaves. *Plant Molecular Biology Reporter* 5:311 - 335.

Pantoja D., Muñoz K. y Checa O. 2014. Evaluación y correlación de componentes de rendimiento en líneas avanzadas de arveja *Pisum sativum* con gen afila. *Revista de Ciencias Agrícolas* 31 (2): 24-39.

Mera, M., Levío, J., Alcalde, J., Morales, M. y Galdames, R. 1996. Brisca-INIA, primera variedad de arveja áfila obtenida en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 56 (4):282 - 286.

Mihailovic, V. 2008. Componentes de rendimiento de grano afila (af) líneas de guisantes forrajeros (*Pisum sativum* L.). Instituto de Cultivos y Hortalizas, NoviSad, Serbia. 98 p.

Ondrej, M., Dostalová, R., Hybl, M., Odstrčilová, L., Tyller, R. and Trojan, R. 2003. Utilization of *afila* types of pea (*Pisum sativum* L.) resistant to powdery mildew (*Erysiphe pisi* DC.) in the breeding

- programs. *Plant Soil Environ.* 49 (11): 481-485
- Prohens, J. and Nuez, T. 2007.** Vegetables II: Liliaceae, Solanaceae, and melliferae. Springer Science and Business Media. Handbook of plant breeding. Springer. New York. 365 p.
- Sañudo, B., Checa, O. y Arteaga, G. 1999.** Manejo agronómico de leguminosas en zonas cerealistas. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Colombia, Pasto. p49- 65.
- Singh, M., Hari, D. and Bisth, S. 2013.** Genetic and genomic resources of grain legume improvement. First edition. ELSEVIER INSIGHTS. London. 322 p.
- Tamayo, J. 2000.** Enfermedades del cultivo de la arveja en Colombia: Guía de reconocimiento y control. Boletín técnico. Fondo Nacional de Leguminosas. Bogotá, Colombia. 50 p.
- Tiemerman, V., Mills, G., Frew, T., Butler, T., McCallum, J., S., Murray, C., Whitfield, A., Russell, A. and Wilson, D. 2004.** Linkage mapping of QTLs for seed yield, yield components and developmental traits in pea (*Pisum sativum* L.). En: 4th International Crop Science Congress. Brisbane, Australia.
- Tulcán, G. y Castillo, C. 1998.** Efecto de la labranza y aplicación de herbicidas en el manejo de malezas en el cultivo de arveja (*Pisum Sativum* L.) en el municipio de Pasto departamento de Nariño. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Nariño: Facultad De Ciencias Agrícolas. Área Agronomía.
- Wang, F., Fu, J., Dong, L., and Zhu, Y. 2003.** [Tendrill inheritance in semi-leafless pea and its utilization in breeding]. *Yi chuan= Hereditas/Zhongguo yi chuan xue hui bian ji*, 25(2), 185-188.