

Efecto de cinco densidades de siembra en líneas de arveja *Pisum sativum* L. con el gen mutante *afila*

Effects of five planting density on pea lines *Pisum sativum* L. with the mutant gene *afila*

Esteban Burbano Erazo^{1*}, Jhon Jairo Domínguez Chauza¹ y Oscar Eduardo Checa Coral¹

¹ Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Cultivos Andinos. Pasto, Colombia.

***Autor para correspondencia:**
eburbuano@unal.edu.co

Conflicto de interés:
Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Licencia:
Creative Commons CC-BY

Historial:
Recibido: 06/09/17;
Aceptado: 16/05/18

RESUMEN

El objetivo de esta investigación se enfocó en evaluar el efecto de cinco densidades de siembra sobre el comportamiento agronómico de cinco líneas de arveja *Pisum sativum* L. modificadas con el gen mutante *afila* (*af*). Este trabajo se llevó a cabo en el departamento de Nariño, Colombia. Para el análisis estadístico se utilizó un diseño experimental de Bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. La parcela principal correspondió a las líneas con gen *af* y las subparcelas a las densidades D1: 100.000, D2: 200.000, D3: 50.000, D4: 83.333 y D5: 166.666 plantas por hectárea. Se presentaron diferencias estadísticas para el efecto de la densidad sobre las variables número de vainas por planta y rendimiento; para el efecto línea no hubo diferencias estadísticas, solamente para la variable, relación grano/vaina. La densidad de 100.000 plantas por hectárea fue el ajuste agronómico, que permitió obtener el mayor rendimiento proyectado con 15,81 t ha⁻¹, respecto a las otras densidades evaluadas; en cuanto a los genotipos, el testigo variedad Andina y las líneas UNIFI4 y UNIFI2 mostraron el mejor resultado para rendimiento y fueron estadísticamente similares con 13,72; 12,18 y 11,47 t ha⁻¹, respectivamente.

Palabras clave: Arquitectura de planta, densidad poblacional, fitomejoramiento, líneas promisorias.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of five planting densities on the agronomic behavior of five lines of pea *Pisum sativum* L. modified with the mutant gene *afila* (*af*). This research was developed in the department of Nariño, Colombia. For the statistical analysis, an experimental design of complete random blocks was used, with divided plots and three replicates. The main plot corresponded to the lines with gene *af* and the subplots at the densities D1: 100.000, D2: 200.000, D3: 50.000, D4: 83.333 and D5: 166.666 plants per hectare. Statistical differences were presented for the effect of density on the number of pods per plant and yield; for the effect of the genotype there were no statistical differences, only for the variable, relationship grain/pod. The density of 100.000 plants per hectare was the agronomic adjustment, which allowed to obtain the highest projected yield with 15,81 t ha⁻¹, with respect to the other evaluated densities; in terms of genotypes, the Andina variety and the lines UNIFI4 and UNIFI2 showed the best result for yield and were statistically similar with 13,72; 12,18 and 11,47 t ha⁻¹, respectively.

Key words: Plant architecture, population density, plant breeding, promising lines.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de arveja *Pisum sativum* L. es una de las hortalizas de mayor interés en el mundo, debido a su alto consumo y por representar un sustento importante para pequeños y medianos productores. La producción de esta leguminosa en Colombia ha constituido un escalón importante en la económica de los agricultores. En este país la producción de arveja alcanzó el total de 44.648 toneladas, en el año 2017, mostrando un incremento del 11,11% respecto a la producción del año 2016 (Agronet 2017). Dentro los principales departamentos productores del país, Nariño, ocupó el primer lugar (Agronet 2017). Lo anterior constituye una de las principales razones para promover estrategias que incrementen la eficiencia de producción en este cultivo.

El hábito de crecimiento voluble confiere a la planta una arquitectura de desarrollo indeterminado, esto obliga al productor de arveja a implementar sistemas complejos de tutorado para mantener un buen desarrollo del cultivo y obtener un producto de buena calidad; sin embargo, dentro la variabilidad genética de esta especie se ha identificado un gen mutante, denominado *afila* (*af*) que confiere a la planta, la capacidad de remplazar sus hojas por zarcillos (Marx 1987, Ambrose 2007).

Estas estructuras, que corresponden a hojas modificadas, por su morfología, permiten a las plantas del surco enlazarse entre sí y de esta manera ayudar a reducir problemas, como el volcamiento, generado por el tipo de arquitectura de la planta. Además, se reducen costos en labores adicionales al tutorado, como el "encanastillado" requerido en plantas sin el gen *af*. Esta reducción de costos contribuye a incrementar la rentabilidad del cultivo.

El desarrollo de genotipos de *P. sativum* que permitan reducir las dificultades ligadas a una arquitectura "agresiva" de planta, resultan de gran relevancia para el sector horticultor. Esto con el fin de evitar el deterioro de la calidad del producto, al tener contacto con el suelo. Además la condición *afila* involucra mayor aireación dentro del cultivo, lo que permite mantener un mejor estado sanitario (Mera et al. 1996), evitando la creación de condiciones adecuadas para el desarrollo de patógenos; también se reportan genotipos con este gen mutante que presentan mayor rendimiento que las plantas sin expresión de esta característica

(Mihailovic 2008) y se destaca la tolerancia a condiciones de estrés hídrico debido a la menor superficie foliar, lo que causa una reducción de la pérdida de agua por transpiración (Martin et al. 1994). Lo anterior destaca a las plantas de arveja con expresión del gen *af* como promisorias y con una amplia capacidad adaptativa para mitigar los efectos negativos generados por estrés biótico y abiótico. Además, la aplicación del fitomejoramiento para modificar la arquitectura de la planta, es considerada un aspecto de gran interés en hortalizas (Burbano y Vallejo 2017).

Dentro del aspecto socio económico, la tradición productiva de esta especie en el país, permite que se considere como una importante fuente de empleo (FENALCE 2010). Además, se destacan otras cualidades como la fijación de nitrógeno atmosférico al suelo (Abi-Ghanem et al. 2013); la capacidad adaptativa de esta especie; la importancia biocultural y la participación como fuente básica para el consumo humano. De acuerdo a las exigencias del mercado, el producto se puede obtener en estado fresco o seco (Sañudo et al. 1999).

A pesar de las ventajas de este cultivo, los requerimientos de tutorado constituyen un factor importante a considerar, ya que esta labor representa el 52% de los costos totales de producción y es necesaria para la mayoría de variedades cultivadas con hábito de crecimiento voluble (Pantoja et al. 2014). Por lo anterior es necesario optimizar todos los aspectos morfológicos, fisiológicos, físicos y químicos, que permitan a la planta de arveja soportar condiciones adversas, incrementar su capacidad adaptativa, aumentar la eficiencia de utilización de recursos y expresar su mayor potencial genético.

Para favorecer la mayor expresión de las características de la planta es también necesaria la estandarización de un manejo agronómico adecuado para el cultivo, tal como el ajuste de la densidad de siembra, importante en la explotación agrícola de esta leguminosa.

Finalmente, para contribuir a la optimización del manejo agronómico de este importante cultivo, se plantea como objetivo de estudio, evaluar cinco densidades de siembra sobre los componentes vegetativos y reproductivos de cinco líneas mejoradas de arveja, con el gen mutante *afila*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en los meses de febrero hasta noviembre del 2012 en instalaciones de la granja LOPE, del Servicio Nacional de aprendizaje SENA ubicada en el municipio de San Juan de Pasto, perteneciente al departamento de Nariño-Colombia; a una altura de 2.612 msnm, ubicación 01°12'28" N, 77°15'06" W, temperatura promedio de 14°C, humedad relativa de 73%, precipitación promedia anual de 841 mm (IDEAM 2016).

El material de evaluación correspondió a cinco (5) líneas de arveja voluble modificadas con el gen mutante *afila*, perteneciente a la colección de trabajo del grupo de investigación de Cultivos Andinos de la Universidad de Nariño, tal como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Líneas de arveja con gen *afila* evaluadas.

Identificación de la línea
UNIFI1
UNIFI2
UNIFI3
UNIFI4
Variedad Andina (testigo)

Se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar, con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. La parcela principal correspondió a las cinco líneas de arveja con el gen mutante *afila* y la subparcela a las cinco densidades de siembra, tal como se muestra en la Tabla 2, y depositando una sola semilla por sitio de siembra.

Tabla 2. Distancias y densidades de siembra evaluadas para arveja con gen *afila*

Densidad	Distancia		Plantas/ha
	Entre surcos (m)	Entre planta (m)	
D1	1	0,10	100.000
D2	1	0,05	200.000
D3	1	0,20	50.000
D4	1,20	0,10	83.333
D5	1,20	0,05	166.666

El tamaño de la unidad experimental, para las densidades D1, D2 y D3, fue de tres surcos con una longitud de tres metros, para un total de 9 m²; para las densidades restantes, la unidad experimental fue de tres surcos con una longitud de 3 m de largo

para un total de 9,6 m². Además, se delimitó el área útil en las parcelas de acuerdo a las distancias y densidades de siembra mediante la eliminación de las plantas de los bordes como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Dimensión de las unidades experimentales y área útil de las parcelas evaluadas de acuerdo a la distancia y densidad de siembra de plantas de arveja.

Densidad	Parcela (m ²)	Área útil (m ²)
D1	3,00 x 3,00 = 9	3,00 x 2,80 = 8,40
D2	3,00 x 3,00 = 9	3,00 x 2,90 = 8,70
D3	3,00 x 3,00 = 9	3,00 x 2,60 = 7,80
D4	3,20 x 3,00 = 9,6	3,60 x 2,80 = 10,08
D5	3,20 x 3,00 = 9,6	3,60 x 2,90 = 10,44

Las variables que se evaluaron fueron número de granos por vaina (NGPV), al momento de la cosecha se tomaron veinte vainas al azar dentro de la parcela útil, se contaron sus granos y obtuvo el producto; número de vainas por planta (NVP), se contaron las vainas en cinco plantas dentro de la

parcela útil y se obtuvo el promedio; días a cosecha (DAC), se midió cuando el 75% de las vainas de la planta llegó a estado de grano; relación grano/vaina (RGV), en veinte vainas tomadas al azar de la parcela útil se obtuvo el peso de los granos y el peso de las vainas sin grano, se calcularon los respectivos

promedios y determinó la relación grano/vaina; y rendimiento proyectado (R), la medición se realizó en vaina verde o estado fresco del producto, se cosechó el área útil de cada parcela y se obtuvo el peso en kilogramos para posteriormente proyectarse en las unidades de rendimiento, t ha⁻¹.

Para el análisis estadístico de los datos recolectados se utilizó el software estadístico SAS versión 9.4 (SAS 2016). Se realizó un análisis de varianza y para las variables estadísticamente significativas la prueba de comparación de promedios de Tukey (P<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los resultados proporcionados por el análisis de varianza, presentado en la Tabla 4, se encontró que las variables NGPV, NVP, DAC y R, fueron estadísticamente significativas para la fuente de variación línea; mientras que la variable RGV no presentó significancia para la misma fuente de variación. En cuanto a las densidades se presentaron diferencias estadísticamente significativas solamente en las variables NVP y R. Para la interacción entre densidad y línea, ninguna de las variables generó diferencias significativas a nivel estadístico.

Tabla 4. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables número de granos por vaina (NGPV), número de vainas por planta (NVP), días a cosecha (DAC), relación grano/vaina (RGV) y rendimiento (R), de líneas de arveja con el gen mutante *afila*.

Fuente de variación	G.L.	NGPV	NVP	DAC	RGV	R
Bloque	2	0,98 ^{NS}	33,25 ^{NS}	446,25 [*]	0,03 ^{NS}	10,15 ^{NS}
Densidad	4	0,54 ^{NS}	1.120,6 [*]	28,38 ^{NS}	0,08 ^{NS}	109,28 [*]
Error A	8	0,33	47,65	14,82	0,10	2,91
Línea	4	2,29 [*]	384,22 [*]	186,11 [*]	0,31 ^{NS}	36,26 [*]
Densidad*Línea	16	0,52 ^{NS}	78,15 ^{NS}	45,90 ^{NS}	0,19 ^{NS}	7,45 ^{NS}
Error B	40	0,36	62,14	52,55	0,16	6,33
R²		0,62	0,75	0,55	0,46	0,74
CV (%)		10,37	19,2	5,21	23,41	21,76

*Diferencias significativas (p ≤ 0,5); NS: no diferencias significativas; G.L. grados de libertad, CV: coeficiente de variación.

Los resultados encontrados indican que existen diferencias estadísticas entre las líneas evaluadas con gen *afila* (*af*) y el testigo comercial variedad Andina sin el gen mutante *af* para NGPV, NVP, DAC y R. Esto sugiere que dentro de las líneas con gen *afila* se pueden identificar genotipos con características agronómicas promisorias respecto al cultivar comercial Andina, de mejor rendimiento. Lo anteriormente mencionado se corrobora con los resultados obtenidos en la investigación de Mihailović (2008), donde se reportan evidencias el alto potencial genético de líneas de arveja que manifiestan la expresión del gen mutante *afila*.

Número de granos por vaina

En esta variable se presentaron diferencias estadísticamente significativas solamente para la fuente de variación línea. Las medias de esta variable oscilan entre 6,26 y 5,24 granos por vaina, tal como se muestra en la Tabla 5. Estos resultados muestran como la línea UNIFI1 presenta el mayor

número de granos por vaina (6,26), siendo estadísticamente igual al testigo comercial variedad Andina que presentó 6,09 granos por vaina. De igual manera se destaca la participación de las líneas UNIFI4 y UNIFI3 con 5,79 y 5,69 granos respectivamente, siendo estos comportamientos estadísticamente iguales a las medias de los valores más altos.

Estos resultados muestran el comportamiento sobresaliente de las líneas con gen *afila* en cuanto a la cantidad de granos por vaina. Los datos obtenidos encajan dentro de los valores de 4 a 8,5 granos por vaina reportados en otras investigaciones (Khan et al. 2013).

La cantidad de granos por vaina es una característica controlada, en gran parte al componente genético de la planta, tal como lo mencionan Tulcán y Castillo (1998) en sus investigaciones relacionadas con manejo agronómico del cultivo de arveja, que destacan la

importancia del potencial genético en la formación de granos por vaina; sin embargo, no se descarta la intervención del componente ambiental sobre la expresión de esta característica (Marx y Mishanec 1967).

Este carácter resulta de gran importancia por su influencia directa sobre el rendimiento del cultivo de arveja (Vladan et al. 2013), por lo que puede ser un rasgo promisorio de selección en plantas con gen *af*.

Tabla 5. Comparación de medias para la fuente de variación línea para el número de granos por vaina (NGPV), número de vainas por planta (NVP), días a cosecha (DAC), y rendimiento (R), de líneas de arveja con el gen mutante *afila*.

Líneas	NGPV	NVP	DAC (Días)	R (t ha ⁻¹)
UNIFI1	6,26 A	33,78 C	143,53 A	9,53 C
UNIFI2	5,24 B	43,29 AB	133,93 B	11,47 ABC
UNIFI3	5,69 AB	38,04 BC	138,73 AB	10,88 BC
UNIFI4	5,79 AB	46,36 A	140,53 AB	12,18 AB
TESTIGO	6,09 A	43,77 AB	138,00 AB	13,72 A

Medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En las densidades evaluadas no se presentaron diferencias entre la cantidad de granos por vaina, por lo que se puede inferir que, a pesar de la proporción del efecto ambiental sobre la cantidad de granos por vaina, se evidencia la mayor importancia del genotipo de la planta sobre la manifestación de esta variable. La interacción entre línea y densidad tampoco fue significativa estadísticamente.

Número de vainas por planta

Esta variable presentó diferencias estadísticas para las fuentes de variación línea y densidad, más no para la interacción. En cuanto a las líneas de mejor comportamiento, respecto al número de vainas por planta, se encontró que la UNIFI4 presentó un total de 46,36 vainas, seguida del TESTIGO con 43,77 y la línea UNIFI2 con 43,29 vainas, siendo estas superiores, pero estadísticamente iguales entre

ellas. Las líneas con menor cantidad de vainas por planta fueron UNIFI3 y UNIFI1, con 38,04 y 33,78 vainas por planta, respectivamente (Tabla 5). Lo anteriormente descrito demuestra el posible potencial genético aprovechable de las líneas mutantes *af* con mayor cantidad de vainas por planta, respecto al testigo sin gen *afila*.

En la misma variable, respecto a las densidades de siembra, la D1 presentó 50,60 vainas, seguida de la D3 con 45,94 y la D4 con 44,82 vainas por planta, siendo estadísticamente iguales entre ellas. Las demás densidades evaluadas presentaron valores inferiores, siendo la D5 con 32,18 vainas por planta y la D2 con 31,60 vainas, las de menor promedio para esta variable, tal como se muestra en la Tabla 6. En las dos densidades con menor cantidad de vainas por planta, se observa el efecto negativo de la mayor cantidad de individuos por área.

Tabla 6. Comparación de medias para la fuente de variación densidad del número de granos por vaina (NGPV), número de vainas por planta (NVP), días a cosecha (DAC), y rendimiento (R), de líneas de arveja con el gen mutante *afila*.

Densidades	NGV	NVP	DAC (Días)	R (t ha ⁻¹)
D1	6,04	50,68 A	140,2	15,81 A
D2	5,6	31,60 B	137,2	8,29 C
D3	5,85	45,94 A	139,6	11,36 B
D4	5,93	44,82 A	140,0	11,22 B
D5	5,64	32,18 B	137,6	11,10 B

Medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Estos resultados concuerdan con reportes de González y Ligarreto (2006) que mencionan el efecto negativo de las altas densidades de siembra sobre el cultivo de arveja, debido al incremento de la competitividad generado entre las plantas por recursos necesarios para llevar a cabo un desarrollo vegetativo y reproductivo normal. De igual manera estudios realizados por Meadley y Milbourn (1970) sugieren el efecto negativo de altas densidades de siembra sobre el proceso de fructificación en arveja.

En este estudio se refleja la importancia de establecer condiciones agronómicas favorables para cultivares de interés agrícola, como arveja con el gen mutante *af*, a fin de favorecer la mayor expresión del potencial genético, tal como en el caso de la cantidad de vainas por planta, cuya manifestación genera un efecto importante sobre el rendimiento, y está altamente correlacionada con la condición de densidad de siembra (Mera 1989), siendo su efecto inversamente proporcional; es decir que a mayor densidad poblacional se afectará negativamente la cantidad de vainas producidas.

Días a cosecha

Dentro de las líneas *afila* evaluadas para la medición de días a cosecha, se encontró diferencias estadísticas para la fuente de variación línea, siendo lo contrario para densidades y la interacción. En general las líneas evaluadas presentaron similar comportamiento en cuanto al tiempo necesario para llevar a cabo el proceso de cosecha. Las líneas estadísticamente iguales y más tardías en orden descendente fueron UNIFI1, UNIFI4, UNIFI3 Y TESTIGO. Por otro lado, la línea UNIFI2 fue la que se cosechó en el menor tiempo con 133,9 días, sin embargo, a nivel estadístico este periodo de tiempo fue igual al requerido por el TESTIGO, y las líneas UNIFI3 y UNIFI4, tal como se observa en la Tabla 6.

Estos resultados encontrados indican que tanto las líneas con gen *afila* y el testigo carente del gen mutante, presentaron un periodo de tiempo similar para llevar a cabo la cosecha y que la diferencia máxima identificada entre la línea más precoz UNIFI2 y la línea más tardía UNIFI1 con gen *afila*, fue de 10 días.

Relación grano/vaina

Los resultados encontrados en la evaluación de las líneas con gen *afila* y el testigo, la variedad comercial Andina sin gen mutante *af*, para la

variable relación grano/vaina no revelaron significancia estadística para ninguna de las fuentes de variación. Lo anterior indica que tanto las líneas como las densidades fueron similares en cuanto a la medición de la relación grano/vaina con la muestra de vainas tomada, de igual manera sucedió con la interacción entre densidad y línea.

Rendimiento proyectado

En cuanto a la variable de rendimiento se encontró que las diferencias estadísticas se presentaron en las fuentes de variación línea y densidad, más no en la interacción de las mismas. El testigo, la variedad comercial Andina presentó el mayor rendimiento proyectado con 13,72 t ha⁻¹, sin embargo, fue estadísticamente igual a las líneas UNIFI4 con 12,18 t ha⁻¹, y UNIFI2 con 11,47 t ha⁻¹, lo que destaca la importancia de evaluar genotipos *afila* como material genético promisorio, por su rendimiento y ventajas conferidas por la presencia de este gen mutante (Tabla 5). Lo anterior permite inferir que el remplazo de hojas normales por zarcillos no afecta negativamente el rendimiento de la planta, esto es corroborado por la investigación de Pantoja et al. (2014) en la que se encontró genotipos con el gen mutante *af* incorporado, cuyo comportamiento fue similar a las variedades comerciales Andina y Sindamanoy que carecen de la expresión de este gen.

Además, la condición de excesivo follaje y gran cantidad de ramas laterales en variedades de hábito voluble genera grandes exigencias en cuanto a las labores de tutorado vertical y "encanastillado" con el objetivo de evitar problemas de acame; Casanova et al. (2012) y Pantoja et al. (2014) agruparon los costos de esta labor en más de la mitad de los costos totales de producción. Una solución genética y promisoriosa es la incorporación del gen mutante *af* en plantas de arveja regionales, cuya expresión confiere la modificación de hojas por zarcillos (Smýkal et al. 2013) y promueve un mayor agarre entre las plantas. Esta alternativa es apoyada por reportes de Vladan et al. (2013), en los que se menciona la importancia del gen *afila* y se destaca su utilización en cruces con genotipos carentes del gen mutante para obtener resistencia a la condición de acame; Wang et al. (2003) también indican la importancia de la manifestación de la condición homocigota recesiva en arveja *af af*, para conferir esta resistencia. Estas características conferidas por el gen mutante y un rendimiento similar al del

testigo comercial convierten a las líneas UNIFI4 y UNIFI2 en genotipos promisorios.

En cuanto a la fuente de variación densidad, la D1 presentó el mayor valor de rendimiento con 15,81 t ha⁻¹, siendo estadísticamente la mejor condición de siembra respecto a las otras densidades poblacionales evaluadas. Esto se corrobora con estudios realizados por Casanova et al. (2012) en los que se demuestra que la cantidad de vainas está influenciada directamente por la disponibilidad de condiciones favorables para la planta. Por otro lado, la densidad D2 que involucra la mayor densidad poblacional en evaluación con 200.000 plantas por hectárea, es decir a una distancia de 0,05 m entre plantas y 1 m entre surcos, resultó ser la distribución de siembra con los menores rendimientos, proporcionando un valor de 8,29 t ha⁻¹, tal como se muestra en la Figura 1.

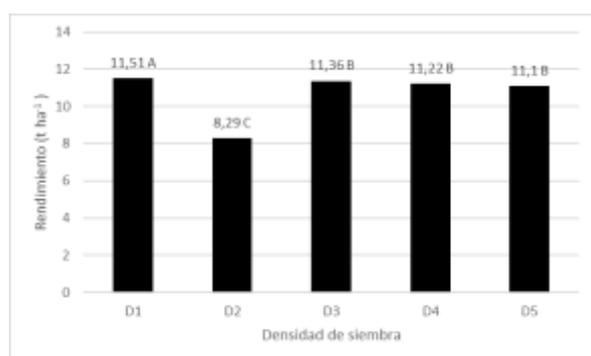


Figura 1. Efecto de las densidades de siembra sobre el rendimiento de líneas de arveja con el gen mutante *afila*.

Los resultados encontrados demuestran que al incrementar la densidad de siembra se reduce el rendimiento. Esto es corroborado por de Forero y Ligarreto (2011), quienes afirman que, al incrementar la densidad poblacional en materiales genéticos de arveja, se presenta un impacto negativo en el rendimiento. Esto puede estar provocado por la presión generada sobre los requerimientos de la planta al ejercerse un mayor grado de competencia entre las mismas, afectando negativamente la fenología de la planta. De igual manera Casanova et al. (2012), señalan el efecto desfavorable provocado por el incremento en la densidad de siembra en líneas de arveja, sobre el rendimiento.

Además, es importante destacar que la arveja es un cultivo que puede ser afectado negativamente en altas densidades de siembra (Ligarreto 2009) esto

sumado a las diferentes condiciones ambientales que soportan los cultivos en campo, necesariamente provoca un efecto perjudicial en el desarrollo normal de la planta. Por lo anterior, es conveniente evaluar las condiciones favorables para arveja con gen *afila*, tal como se ha hecho para los cultivos de arveja con formación de hojas normales. Esto es correlacionado con menciones de Forero y Ligarreto (2011) en sus investigaciones con arveja voluble, en las que manifiestan la importancia de propiciar las condiciones óptimas del cultivo, para evitar pérdidas en el rendimiento.

CONCLUSIONES

Las líneas que manifiestan la expresión del gen mutante *afila* y que fueron evaluadas en esta investigación, mostraron un comportamiento favorable y promisorio debido a que sus características fueron similares a las del testigo, la variedad comercial Andina, carente de la expresión de este gen.

El efecto de la variación en las densidades poblacionales fue evidente sobre las variables número de vainas por planta y rendimiento en las que se identificó una respuesta negativa a las densidades extremas evaluadas. La mayor densidad poblacional que correspondió a 200.000 plantas/ha se desatacó por generar los rendimientos más bajos.

El mejor comportamiento en cuanto a rendimiento proyectado se presentó en la densidad de siembra D1, con 15,81 t ha⁻¹, este ajuste agronómico presenta una distancia de siembra de 0,10 m entre planta, 1 m entre surco y una densidad poblacional de 100.000 plantas/ha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abi-Ghanem, R; Bodah, ET; Wood, M; Braunwart, K. 2013. Potential breeding for high nitrogen fixation in *Pisum sativum* L.: germplasm phenotypic characterization and genetic investigation. American Journal of Plant Sciences. 4(8): 1597-1600
- AGRONET (Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia). 2017. Agronet Min Agricultura. Estadísticas agrícolas: Área, producción, rendimiento y participación. Consultado 16 mayo. 2018. Disponible en <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>

- Ambrose, M. 2007. Garden Pea. In Prohens, J; Nuez, F. (eds.). Vegetables II: Liliaceae, Solanaceae, and Umelliferae. Valencia, España, Springer Science and Bussines Media. p. 3-26. Serie Handbook of plant breeding. Springer.
- Burbano E, E; Vallejo Cabrera, FA. 2017. Producción de líneas de tomate "chonto" *Solanum lycopersicum* Mill., con expresión del gen *sp* responsable del crecimiento determinado. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 11(1): 63-71.
- Casanova E, L; Solarte L, J; Checa C, O. 2012. Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.). Revista de Ciencias Agrícolas. 29(2): 129- 140.
- FENALCE (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas, Colombia). 2010. Indicadores sectoriales. (en línea). Consultado 20 Jun. 2015. Disponible en <http://www.fenalce.org/nueva/pg.php?pa=19>
- Forero, AF; Ligarreto, GA. 2009. Evaluación de dos sistemas de tutorado para el cultivo de la arveja voluble (*Pisum sativum* L.) en condiciones de la Sabana de Bogotá. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 3(1): 81-94.
- González, F; Ligarreto, G. 2006. Rendimiento de ocho genotipos promisorios de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) bajo sistema de agricultura protegida. Fitotecnia Colombiana. 6(2):52-61.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia). 2016. Departamento Administrativo de Estadística. IDEAM (en línea, sitio web). Consultado 15 de agosto 2016. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/datos-de-pronostico>
- Khan, TN; Ramzan, A; Jillani, G; Mehmood, T. 2013. Morphological performance of peas (*Pisum sativum*) genotypes under rainfed conditions of Potowar region. J. Agric. Res. 51(1): 51-60
- Ligarreto, G. 2009. Análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum* L.) tipo Santa Isabel. Agronomía Colombiana, 27(3), 333.
- Martin, I; Tenorio, JL; Ayerbe, L. 1994. Yield, Growth, and water use of conventional and semi-leafless peas in semi-arid environments. Crop Sci. 34:1576-1583.
- Marx, GA. 1987. A suite of mutants that modify pattern formation in pea leaves. Plant Molecular Biology Reporter 5(3):311 - 335.
- Marx, GA; Mishanec, W. 1967. Further Studies on the Inheritance of Ovule Number in *Pisum* L. Crop Science Abstract 7(3):236-239.
- Meadley, JT; Milbourn, GM. 1970. The growth of vining peas. II The effect of density of planting. The Journal of Agricultural Science 74(2): 273-278.
- Mera, M. 1989. Densidad poblacional y espaciamento en arveja (*Pisum sativum* L.) para grano seco de follaje reducido. Agricultura técnica 49(2):148-152.
- Mera, M; Levío, J; Alcalde, J; Morales, M; Galdames, R. 1996. Brisca-INIA, primera variedad de arveja áfila obtenida en Chile. Agricultura técnica 56(4):282-286.
- Mihailovic, V. 2008. Componentes de rendimiento de grano áfila (*af*) líneas de guisantes forrajeros (*Pisum sativum* L.). Instituto de Cultivos y Hortalizas, NoviSad, Serbia. 98 p.
- Pantoja, D; Muñoz, K; Checa, O. 2014. Evaluación y correlación de componentes de rendimiento en líneas avanzadas de arveja *Pisum sativum* L. con gen áfila. Revista de Ciencias Agrícolas. 31(2): 24-39
- Sañudo, B; Checa, O; Arteaga-Meneses, G. 1999. Manejo agronómico de leguminosas en zonas cerealistas. Pasto, Colombia, Produmedios, p. 97.
- SAS. 2016. Statistical Analysis Software. Consultado 10 de febrero. 2016. Disponible en https://www.sas.com/en_us/software/stat.html
- Smýkal, P; Coyne, C; Redden, R; Maxted, N. 2013. Peas. In Singh M; Hari D; Bisth S. Genetic and genomic resources of grain legume improvement. First edition. Elsevier Insights. London. p. 41-80
- Tulcán, G; 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.
- Vladan, P; Radisa, D; Pedja, M; Predrag, J. 2013. Influence of the *afila* gene on grain yield in pea (*Pisum sativum* L.). African Journal of Agricultural 8(16):1513-1519.
- Wang, F; Fu, J; Dong, L; Zhu, Y. 2003. Tendril inheritance in semi-leafless pea and its utilization in breeding. YiChuan. 25(2):8-185.