

**EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LÍNEAS DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.)
CON GEN AFILA BAJO DOS DENSIDADES DE SIEMBRA**

MARCELA ELIZABETH RIASCOS DELGADO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
ÁREA DE ÉNFASIS PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
SAN JUAN DE PASTO
2016**

**EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LÍNEAS DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.)
CON GEN AFILA BAJO DOS DENSIDADES DE SIEMBRA**

MARCELA ELIZABETH RIASCOS DELGADO

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster en Ciencias Agrarias con Énfasis en Producción de Cultivos**

**Director de Tesis
OSCAR EDUARDO CHECA CORAL I.A. M.Sc. Ph.D**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
ÁREA DE ÉNFASIS PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
SAN JUAN DE PASTO
2016**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1° del Acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

NESTOR ANGULO I.A. M.Sc.
Jurado

TULIO CESAR LAGOS BURBANO I.A. M.Sc. Ph.D.
Jurado

JESUS MURIEL M.Sc.
Jurado

OSCAR EDUARDO CHECA CORAL I.A. M.Sc. Ph.D
Presidente

San Juan de Pasto, mayo de 2016

AGRADECIMIENTOS

Oscar Eduardo Checa Coral I.A. M.Sc. Ph.D. Por su orientación, su apoyo incondicional y paciencia brindada.

Grupo de Cultivos Andinos de la Universidad de Nariño. En especial a Jaime López, Francisco Alpala, Jacobo Ruano y Vicente Arteaga.

Universidad de Nariño, en especial a la Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales.

Programa de Jóvenes Investigadores de Colciencias

SENA (N) Centro Internacional de Agricultura Limpia-Lope. En especial a Carlos Acosta I.A y aprendices.

Jesús Muriel I.A. M.Sc.

Gustavo Ligarreto I.A. M.Sc. Ph.D.

Néstor Angulo I.A. M.Sc.

Todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la culminación de este trabajo.

Dedicado a:

A Dios por sus grandes bendiciones
A mi hija y a mi esposo por ser el motor de mi vida
A mi mamá y mi hermano por su acompañamiento incondicional
A Soledad Muñoz y Luis Bolaños por su apoyo absoluto

RESUMEN

En el país para el año 2014 la producción de arveja se estimó en 137.275 t por año, de los cuales el principal productor de esta leguminosa es Nariño con 69.190 t; la producción del departamento de Nariño en vaina verde se concentra principalmente en los municipios de Ipiales, Pupiales, Cordoba, Puerres, Potosí, Gualmatán y Contadero que benefician social y económicamente a unas 25000 familias de pequeños y medianos productores. En Colombia existen genotipos de arveja voluble con hojas tipo convencional que presentan arquitectura agresiva y son de difícil manejo agronómico. En el departamento de Nariño, el grupo de cultivos andinos (GRICAND) obtuvo por retrocruzamientos entre variedades volubles mejoradas (padre recurrente) y genotipos arbustivos con gen afila (padres donantes), las generaciones F2 de la RC1 y RC2 que permitieron identificar plantas volubles de arveja con gen afila que sustituyen hojas por zarcillos, esas plantas se autofecundaron obteniendo 208 familias F3. En la presente investigación se planteó la evaluación visual de la familia F3 con gen afila para identificar las mejores características agronómicas y dentro de ellas se realizó una selección individual de 105 plantas que por autofecundación generaron 105 líneas en generación F4.

Mediante la aplicación de un índice de selección y a una presión de selección del 20%, se seleccionaron 21 líneas promisorias por orden de mérito. En la generación F5 con el fin de determinar el grado de competitividad del material genético seleccionado se evaluaron por componentes de rendimiento y bajo dos densidades de siembra (D1:83.333 y D2:166.666 plantas.ha⁻¹) las 21 líneas promisorias y tres testigos comerciales (Andina, San Isidro y Sindamanoy). Se utilizó un diseño de parcelas divididas en donde la parcela principal correspondió a las densidades de siembra y en la subparcela se asignaron los genotipos de arveja. Los resultados se sometieron a Análisis de Varianza y prueba de comparación de promedios. Con las variables de rendimiento y sus componentes se realizaron correlaciones genéticas y análisis de sendero. En la densidad de 166.666 plantas.ha⁻¹, se destacaron SXDRC118 y SX3575RC17 por presentar promedios de rendimiento superiores a los testigos. El 80% de las correlaciones genéticas entre los componentes de rendimiento fueron significativas. En el Análisis de Sendero las correlaciones genéticas entre rendimiento y sus componentes fueron altamente afectadas por los efectos indirectos. El peso de cien granos verdes y número de vainas por planta, fueron las variables que lograron los mayores efectos directos, confirmando su utilidad en la selección por rendimiento en vaina verde.

Palabras claves: zarcillos, rendimiento, densidades, correlaciones genéticas, coeficiente de sendero.

ABSTRACT

In the country's 2014 production of pea was at 137,275 t, of which the main producer of this legume is Nariño with 69,190 t; the green pod production of department of Nariño is mainly concentrated in the municipalities of Ipiales, Pupiales, Cordoba, Puerres, Potosi, Gualmatán and Contadero. In Colombia, there are genotypes of twining peas with conventional type leaves that have aggressive architecture and difficult agronomic management. In the department of Nariño, the group of Andean crops (GRICAND) obtained by backcross between voluble improved varieties (recurrent parent) and shrubby genotypes with afila gene (donor parent); In the F₂ generation of RC1 and RC2 were identified twining plants with gene afila, this gene is replaced leaves for tendrils, those plants were selfing for origin to 208 families in generation F₃.

The F₃ were evaluation visually to identify 105 plants with the best agronomic performance, this allowed generating by selfing 105 lines in F₄. By applying a selection index and a selection pressure of 20%, 21 promising lines were selecting in merit order. In the F₅ generation in order to determine the degree of competitiveness of the selected genetic material were evaluated for yield components and two seeding (D1: 83.333 and D2: 166,666 plants.ha⁻¹) the 21 promising lines and three commercial control (Andina, San Isidro and Sindamanoy). Split plot design was using, in which the main plot had the densities and the subplot had the pea genotypes. The results were subjecting to Analysis of Variance and mean comparison test. The genetic correlations and Path Coefficient were madding with the yield variables and its components. With 166.666 plants.ha⁻¹ density, SXDRC118 and SX3575RC17 were outstanding for having a higher yield mean than the control. The 80% of the genetic correlations among yield components were significant. In path coefficient, the genetic correlations between yield and its components were highly affected by indirect effects. The weight of one hundred green grains and the number of pods per plant were the variables that got the greatest direct effects, confirming its usefulness in the selection of yield in green pod.

Key words: *tendrils, yield, density, genetic correlations, path coefficient.*

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	18
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1 ORIGEN.....	20
1.2 ASPECTOS GENERALES.....	20
1.3 CLASIFICACIÓN, MORFOLOGIA Y FISIOLÓGÍA DEL CULTIVO	21
1.3.1 Clasificación “Angiosperm Phylogeny Group” (Chase, 2003)	21
1.3.2 Fisiología y morfología	22
1.4 ENFERMEDADES FOLIARES EN EL CULTIVO DE ARVEJA:.....	24
1.4.1 Ascochyta:	24
1.4.2 Cenicilla, oídio o mildew polvoso:.....	24
1.5 DENSIDADES DE SIEMBRA DEL CULTIVO DE ARVEJA:	25
1.5.1 Siembra al voleo	25
1.5.2 Siembra en surcos..	25
1.5.3 Sistema siembra tutorado.	25
1.6 VARIABILIDAD GENÉTICA DEL CULTIVO DE ARVEJA.....	27
1.6.1 Variedades comerciales en Nariño	27
1.6.2 Genotipos afila	28
1.7 RETROCRUZAMIENTO	30
1.8 ÍNDICE DE SELECCIÓN	32
1.9 COMPONENTES DE RENDIMIENTO	33

1.10 CORRELACIONES GENÉTICAS	34
1.11 ANALISIS DE SENDERO	35
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
2.1 LOCALIZACIÓN.....	37
2.2 MATERIAL GENÉTICO	37
2.3 ÍNDICE DE SELECCIÓN	41
2.3.1 VARIABLES EVALUADAS.....	42
2.4 EVALUACIÓN POR COMPONENTES DE RENDIMIENTO	45
2.4.1 Variables Evaluadas	45
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1 SELECCIÓN DE LÍNEAS EN GENERACIÓN F4	49
3.2 EVALUACIÓN POR COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE 21 LÍNEAS SELECCIONADAS.	51
3.2.1 Días a floración (DF).....	51
3.2.2 Largo de vaina (LV).	53
3.2.3 Número de vainas por planta (NVP)	54
3.2.4 Peso de vaina verde	56
3.2.5 Relación grano vaina (G/V).....	57
3.2.6 Peso de cien granos verdes (PCGV)	58
3.2.7 Rendimiento.....	59
3.3 CORRELACIONES GENÉTICAS	62
3.4 ANALISIS DE SENDERO	64
CONCLUSIONES	68

RECOMENDACIONES.....69

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....70

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Genealogía de 105 líneas seleccionadas por criterios de arquitectura y carga.	39
Tabla 2. Peso relativo de las variables para evaluación de 105 por índice de selección.	43
Tabla 3. Escala de calificación para la variable altura de planta para evaluación de 105 líneas por índice de selección.	44
Tabla 4. Promedios de 21 líneas seleccionadas por orden de mérito a una presión del 20% en el índice de selección.	49
Tabla 5. 21 líneas promisorias de arveja con gen afila en orden de mérito de acuerdo con los resultados del índice de selección.	50
Tabla 6. Cuadrados medios para las variables: días a floración (DF), días a cosecha en vaina verde (DCVV), altura (ALT), numero de estipulas (NESTT), largo de vaina (LV), numero de grano por vaina (NGV), numero de vainas por planta (NVP), peso de vaina verde (PVV), relación grano/vaina (G/V), peso de cien granos verdes (PCGV) y rendimiento (REND).....	51
Tabla 7. Comparación de densidades para la variable días a floración.	52
Tabla 8. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) para la variable largo de vaina.	53
Tabla 9. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.), para las densidades de planta evaluadas para la variable	55
Tabla 10. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.), para la variable peso de vaina verde.	56
Tabla 11. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.), para las densidades de planta evaluadas para la variable relación grano x vaina (GV).	58

Tabla 12. Comparación de los genotipos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.), para la variable peso de cien granos verdes (PCGV).	59
Tabla 13. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.), para las densidades de planta evaluadas para la variable rendimiento.	61
Tabla 14. Correlaciones genéticas para cinco caracteres en arveja (<i>Pisum sativum</i> L.)	63
Tabla 15. Efectos directos e indirectos de la correlación genética entre rendimiento y sus componentes en la evaluación de 21 líneas de arveja afila.....	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tutorado en parcelas de investigación del Programa de mejoramiento genético de arveja de la Universidad de Nariño en el Corregimiento de Obonuco-Pasto.....	26
Figura 2. Variedad Dove, en parcelas experimentales del programa de mejoramiento genético de arveja de la Universidad de Nariño sembradas en el Corregimiento de Obonuco-Pasto en el periodo 2008A.	30
Figura 3. A la izquierda la variedad Sindamanoy y a la derecha la línea con gen afila proveniente del retrocruzamiento entre Sindamanoy y la línea ILS3568 (SX3668RC111).	32
Figura 4. Líneas afila para evaluación por componentes de rendimiento, establecidas en lote experimental, ubicado en las instalaciones del Centro Internacional de Producción Limpia – Lope del SENA (N).....	38
Figura 5. Lote experimental de líneas de arveja afila en estado de floración, ubicado en el SENA (N).	46
Figura 6. Registro de la variable altura en Lote experimental de líneas con gen afila ubicado en el SENA (N).	46
Figura 7. Lectura de largo de vaina de SX3568RC166 en la evaluación por componentes de rendimiento de 21 líneas afila.	46
Figura 8. Lectura del peso de 100 granos verdes de líneas de arveja en la evaluación por componentes de rendimiento.	47

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 1. Producción mundial de arveja.....	21
Grafico 2. Diagrama de sendero mostrando los coeficientes de sendero del rendimiento en líneas de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) con gen afila....	67

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Plano se campo de evaluación de 105 líneas de arveja con gen afila.	79
Anexo B. Plano de campo de evaluación de 21 líneas con gen afila y dos densidades de siembra en el Centro Lope SENA (N)	80
Anexo C. Fotografías de la evaluación y selección de 105 líneas de arveja con gen afila en el Centro Lope–SENA (N).....	83
Anexo D. Fotografías de la evaluación por componentes de rendimiento de 21 líneas de arveja con gen afila y tres testigos comerciales en el Centro Lope–SENA (N).	84

INTRODUCCIÓN

La arveja es una leguminosa de crecimiento rastrero o trepador, se adaptada a climas templados, fríos y húmedos (Gonzales *et al.*, 2001 y Chase, 2003). A nivel mundial el área sembrada se ha incrementado como resultado de la globalización, apertura de mercados y el interés gubernamental en su comercio. En Colombia, la producción de arveja es considerada de importancia en la economía de pequeños y medianos agricultores de la zona andina. En el país para el 2014, el área sembrada en arveja fue de 31.225 ha, el principal productor de esta leguminosa fue Nariño con 13.655 ha, representando 43,7% del total de la producción, seguido del departamento de Cundinamarca con 23,68% y Boyacá con 22,9% el resto de la producción se concentró en menor porcentaje en otros departamentos (Zamorano *et al.*, 2008 y ENA, 2014).

La producción para el departamento de Nariño en su gran mayoría es cosechada en vaina verde, por su alta aceptación en el resto del país; en cuanto a la producción en grano seco se estima que no alcanza el 20% de la arveja ofertada y generalmente tiene como destino la comercialización como semilla. Para el 2014 en los municipios Ipiales, Pupiales, Puerres, Cordoba, Gualmatán y Contadero se concentró el 70% de la producción total del Departamento (ENA, 2014).

El cultivo de arveja en el sur de Nariño representa una de las principales fuentes de empleo en el campo, por su alta rentabilidad y competitividad. Esto se debe principalmente a la evolución en el manejo agronómico de los últimos quince años; el desarrollo de variedades volubles adaptadas para la región y la adopción de los sistemas de tutorado, han permitido que los agricultores nariñenses se especialicen en técnicas manejo del cultivo, contribuyendo al empleo de la mano de obra familiar, la cual es más económica que en el resto del país. Como consecuencia, las áreas sembradas en Nariño pasaron de 3.500 hectáreas antes de 1995 a 13.655 hectáreas en el 2014 y posicionado el producto en el mercado del interior del país (ENA, 2014).

No obstante, en el cultivo de arveja existen algunas deficiencias relacionadas con el crecimiento agresivo de las plantas, las cuales en floración se tienden sobre las calles, siendo necesario retutorar horizontalmente para facilitar las labores de campo y mantener un cultivo sano, es por eso que algunos productores utilizan el encanastillado como alternativa; sin embargo, cualquier método implica mayores gastos en mano de obra e insumos. Por lo anterior, el grupo de Cultivos Andinos en el Programa de Mejoramiento Genético del Cultivo de Arveja realizó procesos de mejoramiento a las variedades comerciales Andina, San Isidro y Sindamanoy, mediante la introducción del gen afila, el cual es capaz de modificar la arquitectura de la planta, reemplaza la formación de hojas por zarcillos, logrando mejor agarre y disminución de las labores de retutorado; permitiendo implementar nuevas

técnicas que mejoren el proceso de tutorado actual y reduzcan los costos de producción del cultivo.

Encontrar genotipos con gen afila y de alto rendimiento puede convertirse en una alternativa productiva que lograría mayor eficiencia y rentabilidad. Por lo anterior, en la presente investigación se planteó como objetivo general contribuir al mejoramiento de la competitividad del cultivo de arveja a través de la evaluación y selección de líneas con gen afila obtenidas por retrocruzamiento y el ajuste de las densidades de siembra. Los objetivos específicos fueron evaluar y seleccionar familias F3 y líneas F4 de arveja con gen afila, obtenidas por retrocruzamiento entre las variedades mejoradas Andina, San Isidro, Sindamanoy y los padres donantes de gen afila; evaluar por componentes de rendimiento y densidades de siembra 21 líneas F5 promisorias con gen afila y determinar el grado de asociación genotípica entre el rendimiento en vaina verde y sus componentes a partir de las 21 líneas de arveja evaluadas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ORIGEN

Los guisantes han formado parte de la dieta humana y animal desde la prehistoria, como suministradores de proteína para complementar a los cereales. Los guisantes ya eran cultivados hace 8000 años en el Mediterráneo Oriental y en el Próximo Oriente. Formas "salvajes" y primitivas de guisante aparecen en una amplia región. Se reconocen así cuatro posibles centros de origen: el abisinico (Etiopía), el mediterráneo (Turquía, Grecia, Yugoslavia, Líbano), el del Próximo Oriente (Irán, Irak, Cáucaso) y el de Asia Central (noroeste de la India, Pakistán, Afganistán y Rusia) (Gonzales. 2001).

Durante siglos de mejora genética de los guisantes la gama de especies silvestres representantes de *P. sativum* se extienden desde Irán y Turkmenistán a través de Asia interior, el norte de África y el sur de Europa. Sin embargo, no es fácil identificar la localización exacta del centro de diversidad, especialmente teniendo en cuenta que grandes partes de la Región Mediterránea y Oriente medio han sido sustancialmente modificadas por la actividad humana y el cambio de las condiciones climáticas. Por otra parte, los datos de pasaporte a menudo están ausentes o incompletos (Smykal *et al.*, 2012).

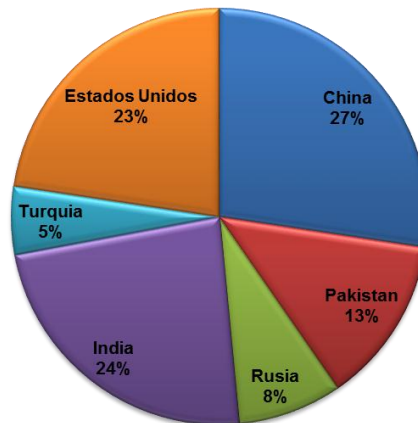
En cuanto al origen del nombre científico *Pisum sativum* L. var. *Sativum*, fue determinado por Lineo, quien clasificó a la especie. Existen diferentes nombres vulgares de acuerdo al idioma y la procedencia del cultivo, en español: arveja, alverja, guisante, chícharo y en otros idiomas: green pea (inglés), Erbse (Alemán), pois (Francés), pisello (Italiano) (Fenalce, 2010).

1.2 ASPECTOS GENERALES

La arveja, junto con el frijol y el haba son las especies de legumbres de mayor importancia en el mundo (Sarikamis *et al.*, 2010). Tras unos diez mil años de domesticación, la arveja (*Pisum sativum* L.) ha acumulado tal variabilidad genética que no sólo ha logrado adaptarse a una diversidad de ambientes para convertirse en una de las principales leguminosas de grano en el mundo, sino también ser una importante planta modelo para estudios bioquímicos y biológicos. La variabilidad genética existente determina un rango de respuestas que van desde genotipos de día neutro, hasta genotipos de día largo con respuesta obligada a fotoperiodo (Larrin y Alcalde, 2003; Perales *et al.*, 2009).

El guisante forma parte de la dieta humana y animal desde la prehistoria. Se consume en forma fresca, su principal uso es la utilización del grano verde, que se ha generalizado debido a la mejora de técnicas de congelado y enlatado; de igual forma, se consume en grano seco en sopas y guisos (Martinez y Ron, 2002). En el 2008 la producción mundial de arveja fue de 8,4 millones de toneladas, con la China como el primer productor, seguida de India y Estados Unidos. Colombia figuró de 25 entre los 95 países productores de arveja fresca (Fenalce, 2010).

Grafico 1. Producción mundial de arveja..



Fuente: FAO, 2008

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 (Pacheco *et al*, 2011). Se perfiló como cultivo alternativo para la sustitución de cereales que han dejado de ser competitivos, como cebada, trigo y maíz, o en rotación de cultivos como papa, dados los beneficios económicos y edáficos propios de las leguminosas (Pacheco *et al*, 2009).

1.3 CLASIFICACIÓN, MORFOLOGÍA Y FISIOLÓGÍA DEL CULTIVO

1.3.1 Clasificación “Angiosperm Phylogeny Group” (Chase, 2003)

Clado: Angiospermas

Clado: eudicotiledóneas

Clado: Malvidas

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Faboideae
Género: Pisum
Especie: *Pisum sativum* L.

1.3.2 Fisiología y morfología

a. Altura de planta: se distinguen cultivares de plantas bajas, determinadas o enanas (0,5 a 0,7 m de altura), intermedias o semideterminadas (0,7 a 1,0 m), y altas, indeterminadas o guiadoras (más de 1,0 m, pudiendo llegar hasta 3 m) (Fenalce, 2010). El guisante es una planta trepadora, anual, normalmente con un solo tallo dominante. Los primeros dos o tres nudos poseen hojas escamosas trifidas. Los nudos inmediatos superiores tienen hojas con un par de folíolos, incrementándose el número de estos pares de folíolos en los nudos superiores. La altura es influenciado por los genes *Lf*, *Sn*, *E* y *Hr* (Pacheco *et al*, 2009).

b. El sistema radical: presenta una raíz pivotante que desarrolla numerosas raíces secundarias, que a su vez se cubre con finas raíces terciarias, lo cual permite la planta anclarse al suelo. En los pelos radicales se establecen los nódulos bacteriales fijadores de nitrógeno atmosférico (Buitrago *et al*, 2006).

c. Órganos florales: La transición floral está regulada por factores ambientales, siendo la longitud del fotoperiodo y la temperatura los más importantes. Numerosos trabajos apoyan la hipótesis de que la conexión entre la percepción de la luz en las hojas y la iniciación floral en el ápice se debe a la acción de hormonas, cuya naturaleza bioquímica se desconoce (Berbel, 2005).

La caracterización fisiológica de guisantes modificados en el tiempo de floración, han proporcionado evidencias de la existencia de dos tipos distintos de reguladores de la floración, móviles, producidos en los tallos: un estímulo floral y un inhibidor, la mayor parte de los cultivares de guisante son plantas facultativas de día largo, aunque algunas son neutrales y otras son plantas de día largo obligado, que no pueden florecer bajo fotoperiodos de menos de 12 h sin vernalización. El número de nudos vegetativos producidos antes de florecer oscila entre 4, en las variedades más tempranas, y más de 100, en las especies más tardías crecidas bajo condiciones no inductivas (Berbel, 2005).

Genéticamente, en arveja la aparición de la floración está controlada por seis genes. Tres de ellos (*Sn*, *Dne*, *Ppd*) se asocian con la respuesta de la planta al fotoperiodo. El gen *Hr* se encarga de prolongar la expresión de los genes asociados con el fotoperiodo, mientras que el gen *E* reduce en los cotiledones la actividad de los cuatro primeros genes mencionados. El gen *Lf*, con cuatro alelos, gobierna la sensibilidad de la yema apical para la señal de floración y determina el número mínimo de nudos para iniciar la floración (Galindo y Clavijo, 2009).

d. Tipo de vaina y de grano: las vainas pueden ser romas o puntudas y contener granos lisos (ricos en almidón) o granos arrugados (dulces), los que pueden ser de tamaño, pequeño, normal o grande, según su diámetro (Fenalce, 2010). Hay otros tipos de arveja no convencionales como las sugar snap que se caracterizan por tener paredes dulces, carecen de pergamino, lo cual las hace fácilmente comestibles, es característica se le atribuye a seis genes (Mera, *et. al*, 2007). Se han realizado diversos programas de mejoramiento en los que se busca vainas sin pergamino, grandes puesto que aumentan el rendimiento, además de presentar mayor contenido de azúcares (Amurrio *et al*, 1996; Gaskell, 1997).

e. Zarcillos: representa un tallo, hoja o pecíolo especializado de las plantas trepadoras para sujetarse a una superficie o a otras plantas y mantenerse en una posición erecta. Existe una gran variedad de zarcillos, siendo los más importantes los de tipo caulinar y foliar. En el caso de los guisantes ocurre una transformación final de la hoja formando un tallo que se ramifica de 2 a 5 partes.

En las variedades convencionales de arveja, las hojas de los primeros tres a cuatro nudos aéreos tienen un par de folíolos y pueden o no presentar un zarcillo terminal. A partir del cuarto o quinto nudo, las hojas continúan teniendo un solo par de folíolos, pero aumenta a tres en promedio el número de zarcillos, presentándose dos de ellos insertos lateralmente en el raquis y el tercero en posición terminal. Las hojas ubicadas en los nudos que preceden al primer nudo reproductivo, por su parte, presentan en general dos pares de folíolos, cuatro zarcillos laterales y uno terminal. Finalmente, las hojas superiores, a partir nudo terminal (Makasheva, R, 1973 y Fenalce, 2010).

Los guisantes de tipo silvestre tienen cuatro pares de zarcillos distales, seguido de un zarcillo terminal. En ciertas líneas (afilas y leafless), en lugar de folíolos se desarrollan zarcillos ramificados reemplazando las hojas laterales por zarcillos lo que les permite mejor agarre en los sistemas de tutorado, mantiene erguidas las plantas durante todo el ciclo productivo, presentándose un cultivo más sano y de fácil cosecha (Calonje *et al.*, 2004).

f. Estipulas: Todas las hojas poseen dos estipulas insertas en la base del pecíolo que se encuentra abrazado al tallo. La estipula presenta margen entero, de igual o mayor tamaño que los folíolos, generalmente sobrepuesta y hace un importante aporte fotosintético (Mera, 1996).

g. Tipo de follaje: La Clase de genes *knotted* (*knox1*) y algunos otros similares han sido encontrados desempeñando un papel importante en el desarrollo de las hojas compuestas. La expresión de *knox1* se asocia con el desarrollo de hojas compuestas en las principales subfamilias de leguminosas como la familia Fabaceae incluyendo a habas (*Vicia*), guisante (*Pisum*) y alfalfa (*Medicago*). En *Pisum sativum* L. la condición *knox1*, *Irlc* y el gen *Uni* codifican para la

característica de producción de un solo foliolo. Otros genes que influyen en la manifestación de hojas compuestas y sus combinaciones de los folíolos son *Flo*, *Lfy* y su homólogo el gen *Pea flo* se expresa en el inicio de los primordios de hoja y puede codificar para la formación de zarcillos. (Eckardt, 2007; Bharathan y Roy, 2001; Hofer, 1997).

Las variedades convencionales presentan hojas paripinnadas, con 1 a 3 pares de folíolos que pueden ser elípticos o subortoculares, zarcillo terminal ramificado y estípulas grandes, mayores que los folíolos. A partir de 1969 se introducen genes que modifican el follaje habitual de la arveja, distinguiéndose en la actualidad las siguientes tipos de planta: (Moreno, 2010).

**planta tipo convencional*: hojas con las características normales donde las hojas superiores, los folíolos terminales, están modificados por zarcillos.

**planta convencional de follaje reducido*: folíolos y estípulas de tamaño reducido.

**Planta áfila*: sin folíolos debido al gen recesivo *af*, reemplazados por zarcillos y con estípulas grandes.

**Planta tipo "leafless"*: sin folíolos y con estípulas como hilos debido a genes recesivos *af* y *st*, y otros tipos con otros genes recesivos modificantes.

1.4 ENFERMEDADES FOLIARES EN EL CULTIVO DE ARVEJA:

a continuación se describen las principales enfermedades foliares del cultivo de arveja.

1.4.1 Ascochyta: cuando hay condiciones de alta humedad relativa en temporadas de invierno, Jones, (1927) coinciden al afirmar que la arveja es muy sensible a tres especies del hongo que pertenecen al género *Ascochyta*; *Ascochyta pisi*, *Ascochyta pinodes* y *Ascochyta pinodella*. Este complejo adquiere importancia económica por el daño que causan a los órganos aéreos de la planta como hojas, tallos y vainas presentando un grave problema en la comercialización en vaina verde. Se recomienda realizar un control químico preventivo con un fungicida a base de clorotalonil 40-50 gr/ bomba. Si hay progreso de la manchas foliares conviene alternar aspersiones de fungicidas de los grupos benzimidazoles 25-30 cc/bomba y triazoles 15-25 cc/bomba (Sañudo, 2007 y Tamayo, 2000).

1.4.2 Cenicilla, oídio o mildew polvoso: es una enfermedad que produce daños severos durante las épocas de verano en todas las zonas productoras de Colombia, el hongo *Eryshipe pisi* afecta hojas, vainas y tallos en todos los estados de desarrollo del cultivo. Se estima que el rendimiento puede ser reducido entre un 10 y un 50% por causa de esta enfermedad, dependiendo de la variedad. En épocas secas prolongadas se recomienda un aspersión de productos a base de azufre micronizado 50-60cc/bomba. Si la enfermedad aparece y hay riesgos de

dispersión rápida, se hacen rotaciones de fungicidas de grupo de los triazoles 15-25cc/bomba con los grupos de los benzimidazoles 20-30 cc/bomba (Sañudo, 2007; Tamayo, 2000; Xue *et al*, 1996).

1.5 DENSIDADES DE SIEMBRA DEL CULTIVO DE ARVEJA:

La densidad de siembra es un factor determinante en el rendimiento del cultivo arveja. A medida que aumenta la densidad, las plantas son individualmente menos productivas (Mera *et al.*, 1996). En Colombia se establecen las densidades de siembra para arveja, de acuerdo con el hábito de crecimiento de la variedad, para arbustivas se recomienda densidades de 60 a 80 Kg.ha⁻¹ de semilla (Checa, 1994) y en genotipos de arveja volubles convencionales 30 a 35 Kg.ha⁻¹; para los genotipos afila no se tiene datos relacionados con la densidad poblacional, la cual debe ser ajustada ya que presenta una arquitectura nueva y una menor área foliar. Las densidades de siembra del cultivo de arveja dependen del sistema de cultivo implementado:

1.5.1 Siembra al voleo. Se requiere de 60 a 80 Kg de semilla por hectáreas, en donde la distribución de la semilla y la germinación no son uniformes, por lo que es necesario una mayor cantidad de semilla por hectárea (Semicol, 2009). En épocas o en regiones muy humedad, la producción se afecta por enfermedades, disminuyendo la calidad de las vainas y los granos, respecto a los sistemas tutorados. El rendimiento es de 1000 Kg.ha⁻¹ en seco y 4000 Kg.ha⁻¹ en fresco (Checa, 1994).

1.5.2 Siembra en surcos. Se utiliza densidades de siembra de 60 cm entre surcos, 10 cm entre sitios. No requiere tutores, lo cual disminuye los costos de producción. En épocas o regiones húmedas, las vainas del tercio medio o inferior de la planta son atacadas por *Ascochyta pisi* y *Collectotrichum pisi*, afectando los rendimientos y calidad del grano. (Checa, 1994). Para el sistema de siembra en surcos dobles el rendimiento es de 1.100 Kg.ha⁻¹ en grano seco y 4.400 kg.ha⁻¹ para cosecha en verde (**Semicol, 2009**).

1.5.3 Sistema siembra tutorado. Con este sistema se disminuye la Densidad de siembra usando de 30 a 35Kg.ha⁻¹ de semilla; las distancias entre plantas de 0.10 m y entre surcos de 1 a 1.20 m. El sistema consiste en colocar tutores en el sentido de los surcos, de los cuales se soporta una línea de alambre o fibra de polipropileno que permite colgar las plantas con fibra de polipropileno delgado, y mejora la disposición física de la planta, con el objetivo de facilitar su manejo de plagas y enfermedades, aumentar la productividad e incrementar la calidad del producto cosechado, este sistema mejora la productividad, porque brinda

condiciones óptimas para la fotosíntesis y para un adecuado manejo agronómico, obteniendo una mayor cantidad de vainas sanas y rendimientos por hectárea superiores a 1.400 kg en grano seco y 5.600 kg en verde. (Semicol, 2009).

El sistema tutorado aparece en Nariño hacia el año 1995, con la variedad de arveja voluble Ica-Corpoica Sindamanoy, donde se utilizó sistema de tutorado costoso por el uso de postes, alambre y polipropileno. Con el lanzamiento de la variedad San Isidro se fueron perfeccionando las labores de tutorado en el sur del departamento de Nariño, implementando materiales de menores costos reemplazando el alambre galvanizado por fibra de polipropileno grueso, lo que le daba al cultivo mayor rentabilidad y estabilidad agronómica. Este proceso continuó evolucionando con la aparición de la variedad Obonuco Andina, por lo que actualmente más del 80% de los municipios productores de arveja adoptan este sistema de producción (Figura 1). No obstante, el costo por tutorado sigue siendo alto y representa el 52% de los costos totales (Pantoja *et al.*, 2014; Checa, 2014).



Figura 1. Tutorado en parcelas de investigación del Programa de mejoramiento genético de arveja de la Universidad de Nariño en el Corregimiento de Obonuco-Pasto.

1.6 VARIABILIDAD GENÉTICA DEL CULTIVO DE ARVEJA

La diversidad en arveja es amplia, con un gran número de cultivares que se han mejorado por rendimiento y por calidad del producto fresco o como materia prima para la agroindustria. Colombia cuenta con una amplia variedad de arveja mejoradas, dentro de las cuales se encuentran: ICA Bojacá, ICA Teusacá y Diacol Caldas, entregadas en las décadas de 1960 y 1970; ICA Tominé, Santa Isabel, ICA-Corpoica Sindamanoy y San Isidro liberadas en los noventa; Andina en el 2006 y las más recientes Alcalá y Sureña que se lanzaron en julio de 2012. Para el departamento de Nariño las variedades más cultivadas son Andina, San Isidro y Sureña (Ligarreto y Ospina, 2009; Checa *et al.*, 2006a; Checa *et al.*, 2006b; Checa *et al.*, 2012a; Checa *et al.*, 2012b).

1.6.1 Variedades comerciales en Nariño. En la última década con investigaciones realizadas por el ICA, Corpoica y la Universidad de Nariño, se lanzaron las variedades mejoradas de arveja voluble Sindamanoy, San Isidro las cuales actualmente constituyen el principal renglón económico de la zona sur del departamento de Nariño.

a. Variedad Ica-Corpoica-Sindamanoy: se adapta a la región Andina, subregión Natural del Altiplano de Nariño, a una altura de 2400 msnm a 2900 msnm. Es una variedad de tipo voluble, presenta flores de color blanco, vainas con 6 a 8 cm de longitud y de 6 a 9 granos por vaina, con rendimientos de 6400 Kg.ha⁻¹ en verde y 1600 Kg.ha⁻¹ en grano seco. Con esta variedad se implementaron los sistemas de tutorado en Nariño hacia 1996, en donde se inició tutores de altos costos (Checa, 1995).

b. Variedad San Isidro: es adaptable para la zona Andina, departamento de Nariño a altitudes entre 2600 y 2900 msnm. Con rendimientos en grano verde de 3.510 Kg.ha⁻¹ en verde y 1.749 Kg.ha⁻¹ en grano seco. Con el lanzamiento de la variedad San Isidro se fueron perfeccionando las labores de tutorado en el sur del departamento de Nariño, implementando materiales de menores costos como varas en lugar de postes de madera, fibra de polipropileno grueso remplazando el alambre galvanizado, lo que le daba al cultivo mayor rentabilidad y estabilidad agronómica.

c. Variedad Obonuco- Andina: Con la liberación de la variedad Obonuco Andina aumentó la variabilidad de genotipos volubles adaptados a la zona sur del departamento. Para la época lanzamiento mostraba resistencia a *Ascochyta*, alto rendimiento de grano (3.426 kg.ha⁻¹), mayor tiempo de exposición del grano sin oxidarse ni germinarse durante el almacenamiento y alta adaptación a los suelos de los municipios ubicados en la cuenca media del río Guaitara (entre 2.600 y 2.900 msnm) (Checa, 2006). Las variedades San Isidro y Obonuco Andina, han

migrado hacia los municipios de las exprovincia de Obando en donde encontraron nichos ecológicos que les permite alcanzar rendimientos de 10 t.ha⁻¹.

d. Variedad Alcalá: se adapta a subregión natural de altiplanos de Cundinamarca y Boyacá, 2100 – 2800 msnm y subregión natural de Nariño (2500 – 2900 msnm), presenta incidencia moderadamente resistente a antracnosis *Collectotricum pisi* y a *Ascochyta pisi*; con arquitectura de menor agresividad con relación a las variedades Andina, San Isidro y Sindamanoy; con rendimiento experimental de 12,9 t. ha⁻¹ en verde (Checa, et al 2012a; Checa et al 2012b).

e. Variedad Sureña: es adaptable a la subregión de área fría para alturas mayores a 2200 msnm en el Departamento de Nariño. Presenta un rendimiento experimental de 14.9 t.ha⁻¹ en verde; de igual forma que Alcalá presenta moderada resistencia a *Collectotricum pisi* y a *Ascochyta pisi*. (Checa, et al 2012a; Checa et al 2012b).

Los productores de arveja de Nariño, adoptaron ampliamente las variedades mejoradas Andina, San Isidro y Sindamanoy aprovecharon sus bondades, sin embargo su uso intensivo condujo al incremento de enfermedades foliares como *Ascochyta* (*Ascochyta pisi*) y oídio (*Erishipe pisi*). Además la arquitectura altamente agresiva de estas variedades, las hace de difícil manejo para el agricultor, lo cual incrementa los costos de producción por tutorado.

Es necesario buscar nuevos genotipos de crecimiento indeterminado con adaptación a las zonas productoras del sur de Nariño que presenten una respuesta favorable a enfermedades foliares prevalentes en la zona, con una arquitectura de planta erecta y con un alto promedio en sus componentes de rendimiento y reducción en los costos de producción con lo cual es posible aumentar ingresos de los productores de la región. Por lo tanto, la obtención de genotipos promisorios de arveja en nuestra región constituye a una invaluable contribución encaminada al mejoramiento de la seguridad alimentaria, especialmente de los pequeños agricultores que predominan en el departamento. (Checa et al., 2009).

1.6.2 Genotipos afila. Se trata de un logro de la genética, de una mutación en virtud de la cual las plantas carecen casi de todo el follaje, únicamente conserva los pares de estipulas que abrazan el tallo, presenta numerosos zarcillos; éstos permiten que las plantas se mantengan erectas y se apoyen entre sí, hasta la cosecha, configurando una estructura abierta, con buena aireación, dando poca sombra a las vainas (Giacconi y Escafe, 1988).

Los genes más importantes que modifican el tamaño o la forma de las hojas son el gen *af*, que transforma los folíolos en zarcillos, y el gen *st*, que reduce el tamaño de la estipula. El gen *af* se encuentra en el primer cromosoma y es de tipo

recesivo, la combinación homocigota recesiva *afaf* permite la manifestación fenotípica que da origen a las plantas afila, como lo mencionan Pantoja *et al.*, 2014 y Mera, 1996.

Los trabajos de mejoramiento que se centran en modificar las hojas por zarcillos, están relacionados con evaluaciones agronómicas que comparan genotipos de arveja tipo afila y de follaje convencional. Según Cousin *et al.* (1997) estos cambios morfológicos no están directamente correlacionados con la eficiencia fotosintética de la planta, puesto que no limita el peso de las semillas ni el rendimiento, la disminución de folíolos que representan el órgano fotosintetizador principal en la mayoría de las plantas no es limitante en la asimilación de luz, porque su ausencia permite que el resto de órganos realice la fotosíntesis de manera más eficiente. Al reducir el área foliar en un 40% se presenta mayor asimilación fotosintética de las vainas, puesto que mejora la penetración de la luz a través del dosel y reduce la competencia entre plantas que ocurre cuando hay demasiada producción de biomasa.

Cote *et al.*, (1992) afirma que los zarcillos jóvenes permiten obtener igual ganancia de carbono que una hoja joven de arveja, sin embargo los procesos de producción de fotosintetizados puede verse afectado en la etapa de madurez de los zarcillos, puesto que la actividad fotosintética disminuye en un 70%. De igual forma, Hofer *et al.*, (1997) explica que los genes relacionados con la producción de flores no se encuentran relacionados con los que producen las hojas, por lo tanto, la reducción del área foliar no afecta la floración ni la capacidad de producir vainas, presentando igual o mayor productividad en los guisantes tipo afila en comparación con los cultivares convencionales, lo cual es refutado por Burstin *et al.*, (2007) quien describe que la productividad de las plantas afila está influenciada por los genes *Le* y *af* que controlan la longitud de los entrenudos, el cambio entre las hojas y los zarcillos, respectivamente y están estrechamente relacionados con QTLs de los caracteres de contenido de proteínas en las semillas y rendimiento.

En Colombia, no existen reportes de variedades comerciales de arveja con gen afila. Sin embargo, en países como Holanda, España y Francia desde 1986, se han registrado como variedades comerciales genotipos con gen afila tales como Ascona, Ballet, Cea, Elsa Amadeus, Charleston, Alex, Choque y Astuce que presentan rendimientos similares a las variedades de follaje convencional (Mera *et al.*, 1996). Para 1996, en Chile, se lanza la variedad de arveja con gen afila Brisca INIA, la cual proviene del cruzamiento entre Sel. Ind. PS210791 x F2 (Porta x Neuga), esta variedad presentó rendimiento estadísticamente similar a la variedad comercial Solara (Mera, 1996). Filigreen es una variedad afila inglesa fue el padre donante de materiales genéticos que se evaluaron en el trabajo “correlaciones de rendimiento y componentes de rendimiento para afila y hojas normales (*Pisum sativum* L.), (Dordevic, *et al.*, 2004)

En la Colección de Trabajo del Grupo de Cultivos Andinos de la Universidad de Nariño se encuentran genotipos tipo afila, dentro de ellos están las líneas ILS3568 y ILS3575, proveniente de materiales arbustivos donados por Corpoica La Selva. De igual forma, se cuenta como uno de los genotipos donantes del gen afila, la variedad Dove de crecimiento determinado obtenida en Francia por la empresa INRA, es un guisante de invierno con tolerancia al frío (Figura 2); el cual tiene un rendimiento promedio de 2,6 t.ha⁻¹ en vaina verde con densidades de siembra altas de 90 semillas por m² (Niquerson, 2003; GENVCE, 2010).

Dentro de los trabajos realizados por el Grupo de investigación se obtuvieron líneas con gen afila provenientes de retrocruzamientos entre las variedades comerciales Andina, San Isidro y Sindamanoy y los genotipos donantes del gen afila Dove, ILS3575 y ILS3568, las cuales se evalúan agrónomicamente como una nueva alternativa tecnológica para el cultivo en la región (Figura 2).



Figura 2. Variedad Dove, en parcelas experimentales del programa de mejoramiento genético de arveja de la Universidad de Nariño sembradas en el Corregimiento de Obonuco-Pasto en el periodo 2008A.

1.7 RETROCRUZAMIENTO

Uno de los métodos más utilizados en mejoramiento vegetal es el retrocruzamiento, cuyo objetivo es introducir en una variedad o línea elite un gen que se encuentra en otro genotipo de la misma especie o en una especie cercana. Para ello se cruzan las dos líneas y se utiliza la línea élite como parental recurrente, es decir, para retrocruzar en generaciones sucesivas. En cada generación de retrocruzamiento se selecciona aquellas plantas que presentan el gen a introgresar y que tengan mayor parecido al parental recurrente. Al final del proceso se llega a una línea idealmente idéntica al parental recurrente con la

excepción de que contiene un fragmento de ADN de la línea donante que a su vez contiene el gen que se ha introgresado (Gallego *et al.*, 2011).

Este proceso, generalmente se da entre dos individuos de tipo homocigoto, uno con facultades agronómicas y comerciales optimas, pero susceptible a una enfermedad (padre recurrente) y otro individuo, que se identifica como el padre donante, por darle un gen de resistencia a una enfermedad específica o una característica agronómicamente apreciable (Bastidas *et al.*, 2003). El gen o los genes del padre recurrente pueden ser de tipo homocigoto recesivo o dominante, de ello depende el proceso de obtención del genotipo con la característica deseada.

La arveja por ser una planta autógama tiene polinización cruzada baja o nula, permite el cruzamiento de una forma relativamente fácil. El proceso de retrocruzamiento en su gran mayoría ha sido usado para la incorporación de genes en que le confieran resistencia a enfermedades (Lobo y Obregón, 1989). Aryamanesh *et al.*, (2012); obtuvieron líneas avanzadas de arveja resistentes al picudo negro de la arveja (*Bruchus pisorum*) mediante el retrocruzamiento interespecífico introgresaron la resistencia de *Pisum fulum* en guisantes cultivables. Por otra parte, Hagerdorn y Gritton, en 1973, retrocruzaron 8 líneas de cultivares de arveja con dos introducciones de la misma especie (P.I. 193586 y P.I. 193835) resistentes al virus del mosaico, lo cual les permitió seleccionar algunas líneas que presentaban el gen y concluir que la condición de resistencia de las introducciones estaba dada únicamente por un gen recesivo. En el mismo sentido, Russell *et al.* (2003) mediante el proceso de retrocruzamiento de genotipos con resistencia a *Erysiphe pisi* y cultivares comerciales lograron determinar que la resistencia a oídio en arveja la confiere un único gen dominante.

El Programa de Mejoramiento Genético de Arveja de la Universidad de Nariño realiza retrocruzamientos entre las variedades comerciales y genotipos afila con la finalidad de introducir el gen *af* capaz de modificar las hojas por zarcillos, permitiendo mejorar la arquitectura de la planta y manteniendo las características de las variedades comerciales (Checa, 2014) (Figura 3).



Figura 3. A la izquierda la variedad Sindamanoy y a la derecha la línea con gen afila proveniente del retrocruzamiento entre Sindamanoy y la línea ILS3568 (SX3668RC111).

1.8 ÍNDICE DE SELECCIÓN

En un estudio comparativo Hazel y Lush (1942) concluyeron que el Índice de selección (IS) es el más eficiente y proporciona mayor respuesta a la selección. Utilizar índices de selección tiene varias ventajas, sobre todo cuando el número de características por mejorar aumenta, o cuando existe alguna correlación negativa entre las características de interés. El método de selección debe ajustarse a las necesidades del Programa de mejoramiento genético, al número de genes a introducir por retrocruzamiento y las condiciones presupuestales del mismo. (Cerón *et al*, 2005; Valencia y Vargas, 2001)

Mujica en 1988, estudió 32 variables en el cultivo de la quinua, ponderándolas para construir 127 índices de selección. El diámetro del tallo fue el valor más alto del coeficiente de ponderación. Por otra parte, Assefa, *et al.*, (2013) seleccionaron

líneas avanzadas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) con el rendimiento de semillas de calidad superior en condiciones de sequía e identificaron que el PHI: [peso en seco de la semilla / peso seco de la vaina en la cosecha] x 100 como un criterio de selección eficaz para identificar genotipos con una mejor resistencia a la sequía.

Bourion, *et al.*, (2002) identificaron criterios para la selección de genotipos de arveja, tanto en términos de tiempo de establecimiento de la semilla y productividad; encontraron que el número de nudos, el peso de la semilla seca por nudo del tallo principal y número de ramas basales por planta como criterios adecuados para la selección de la productividad entre los genotipos.

1.9 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

En leguminosas se han desarrollado diferentes estudios para comparar genotipos a través de sus componentes de rendimiento, en el caso de frijol Checa *et al.*, en 2011 evaluaron nueve genotipos que se compararon con la variedad Diacol Nima, observaron poca variabilidad para el número de vainas por planta y número de granos por vaina; para peso de 100 semillas en Bombona los genotipos BRB181, CHOCHO, PVA773 y en Sandoná G5708, superaron al testigo, mientras que en Yacuanquer con excepción de G5708 todas las líneas registraron mayor promedio sobre el testigo.

De igual forma, en Nariño se desarrollan trabajos para determinar el desempeño agronómico de genotipos de arveja arbustivos, volubles convencionales y tipo afila, los cuales han permitido conocer la variabilidad genética de las colecciones de trabajo, realizar hibridación y retrocruzamiento para obtención de líneas avanzadas y variedades que apuntan a solucionar los principales problemas agronómicos del cultivo. Algunos de ellos se describen a continuación:

Casanova *et al.*, (2012) evaluaron en el municipio de Pasto el efecto de cuatro densidades de siembra sobre el periodo vegetativo y los componentes de rendimiento de siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.); los genotipos en la densidad de 200.000 plantas.ha⁻¹ presentaron mejor rendimiento en vaina verde que la densidad de 666.666 plantas.ha⁻¹. Además que las densidades de 333.333, 250.000 y 200.000 plantas.ha⁻¹ mostraron mayores rendimientos en grano seco con respecto a la densidad de 666.666 plantas.ha⁻¹. Los resultados mostraron que las altas densidades de siembra afectaron negativamente los componentes número de vainas por planta, número de granos por vaina, rendimiento en vaina verde, rendimiento en grano seco y peso de 100 semillas.

En cinco municipios de Nariño se evaluaron por reacción a enfermedades y componentes de rendimiento 20 líneas de arveja voluble frente a los testigos Sindamanoy y Andina; en peso de vaina verde se destacaron las líneas ILS3597, ILS3594 y ILS3593 por presentar valores estadísticos superiores a los testigos (9.81 y 10.93 g), también se destacaron las líneas UN7313, UN7143-3, UN7143-1 y UN7328, con rendimientos superiores a la media general (Checa *et al.*, 2009; Checa; 2010). Por otra parte, Valencia y Timana, 2012; estudiaron el comportamiento de los genotipos de arveja a la inoculación de *Ascochyta pisi* y *Mycosphaerella pinodes*, encontraron un buen comportamiento de las líneas con el control químico recomendado y se destacó la línea UN7325 por presentar un rendimiento de 9595Kg/ha. Alpala (2014) evaluó en tres municipios de Nariño la incidencia de *Fusarium Oxysporum* f. sp. *pisii* en 18 líneas de arveja voluble, en la fase de campo las líneas UN7328 y UN7371-2 fueron moderadamente resistentes en Ipiales y el rendimiento en vaina verde las líneas UN7143-3 e ILS3593 sobresalieron en las tres localidades. Las líneas UN7328 y UN7143 fueron seleccionadas y lanzadas como las variedades Alcalá y Sureña en el 2012.

Pantoja *et al.* (2014) evaluaron por componentes de rendimiento 20 líneas de arveja volubles tipo afila, encontraron diferencias entre genotipos en las variables número de granos por vaina, peso de vaina verde, peso de grano verde por vaina y rendimiento. Identificaron como líneas promisorias UDENAR11, UDENAR12, UDENAR14, UDENAR19 y UDENAR20.

1.10 CORRELACIONES GENÉTICAS

Muchos de las características deseables en el cultivar a mejorar se encuentran asociadas positiva o negativamente. La herramienta estadística que permite estimar el grado y naturaleza de tales asociaciones es el coeficiente de correlación (r) (Espitia, *et al.*, 2005; Espitia, *et al.*, 2008). El conocimiento de las correlaciones entre caracteres es importante cuando el objetivo es la selección de un carácter de interés que posee baja heredabilidad, siendo difícil su identificación y respuesta para obtener ganancia genética (Espitia, *et al.*, 2008).

Las correlaciones entre los caracteres de interés en el fitomejoramiento se evalúan por medio de correlaciones fenotípicas, genotípicas y ambientales. La correlación fenotípica se estima directamente de valores medios de campo, siendo resultante de causas genéticas y ambientales. El estudio de correlaciones fenotípicas es riesgoso pues en ellas se incluye la asociación entre caracteres de naturaleza tanto genética como ambiental. Para el fitomejorador las correlaciones genéticas son las de mayor interés, por ser las únicas de naturaleza heredable (Checa y Blair, 2005 y Espitia *et al.*, 2008).

Checa y Blair (2005) estudiaron las correlaciones fenotípicas y genéticas entre los componentes de capacidad trepadora y rendimiento de 84 líneas, encontrando

correlaciones genéticas significativas entre altura de planta, largo de entrenudo y capacidad trepadora y significativas entre altura de planta y largo de entrenudos con el número de vainas por planta y rendimiento, lo cual les permitió concluir que dichos caracteres están controlados por genes ligados o con efectos pleiotrópicos.

Dordevic, *et al.*, (2004) durante tres años evaluaron por componentes de rendimiento ocho líneas tipo afila y cuatro variedades encontrando que el rendimiento y sus componentes estaban altamente correlacionados (0,82 - 0,95) lo cual les permitió concluir que la ausencia de hojas no influye sobre los valores correlativos simples.

Pantoja *et al.* (2014) encontraron correlaciones altas ($|r_G| > 0,50$) entre el rendimiento de arveja vaina y los componentes de rendimiento peso de vaina verde (0,88) y peso de grano verde por vaina (0,76). Esto indica que estos caracteres pueden ser importantes indicadores de rendimiento en poblaciones de alta variabilidad.

1.11 ANALISIS DE SENDERO

El análisis de sendero está determinado por las relaciones causa y efecto de una o más variables sobre un carácter definido. Estas relaciones pueden ser de influencia tipo directa o indirecta. El análisis de sendero permite evaluar si la relación entre dos caracteres es de causa-efecto directo o es determinada por la contribución indirecta de otras variables (Cruz y Regazzi, 1997, Vencovsky y Barriga, 1992 y López y Ligarreto, 2006). El análisis de Sendero puede interpretarse de acuerdo con la importancia del carácter y a las posibles interrelaciones mostradas en estudios previos (Espitia *et al.*, 2008).

Espitia *et al.* (2008) evaluaron 10 genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en ocho ambientes del Caribe Colombiano, realizaron un análisis de Sendero para rendimiento de fibra y encontraron que el porcentaje de fibra con un efecto directo de 0,81 fue el de mayor aporte al rendimiento de fibra, indicando que esta variable puede ser usada como criterio de selección de genotipos por rendimiento de fibra en algodón.

Arshad *et al.* (2006) evaluaron 33 genotipos de soya (*Glycine max* (L) Merrill) y encontraron que las variables días a madurez, longitud de la vaina y peso de 100 semillas tuvieron efectos positivos directos sobre el rendimiento de grano. La longitud de la vaina tuvo un efecto indirecto, explicando que los caracteres mencionados pueden ser importantes en la selección de líneas de soya de alto rendimiento.

López y Ligarreto, 2006, mediante análisis de sendero evaluaron por rendimiento 10 genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) el rendimiento fue determinado en

mayor medida por número de vainas por planta en comparación con los caracteres peso de 100 semillas y número de semillas por vaina que contribuyeron con un menor aporte. También en frijol Duarte y Adams (1972), determinaron la influencia de los efectos directos e indirectos de diferentes variables sobre el rendimiento, concluyendo que el número de vainas por planta y el tamaño de las hojas estuvo altamente asociado con el tamaño de la semilla, además que tanto el peso de las semillas y el número de semillas por vaina ejercen un papel importante en la determinación del rendimiento.

Por otra parte, Pantoja *et al.*, 2014, determinaron que la correlación significativa entre el peso de la vaina verde y el rendimiento en vaina verde de arveja fue influenciada en mayor medida por los efectos directos, siendo la más alta con respecto a los demás componentes de rendimiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Internacional de Producción Limpia - Lope del Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA Regional (N), ubicado en el municipio de Pasto, Departamento de Nariño, a una altura de 2633 msnm, con coordenadas 1°12'40"LN - 77°15'18"LO. La temperatura entre 12 y 20°C, con precipitación promedio de 700 mm/año y una humedad relativa entre 60 y 80% (Figura 4).

2.2 MATERIAL GENÉTICO

El proyecto utilizó como material genético 208 familias F3 obtenidas por el Programa de mejoramiento de arveja del Grupo de Cultivos Andinos de la Universidad de Nariño, generadas a partir de retrocruzamientos entre las variedades mejoradas de arveja Andina, San Isidro y Sindamanoy (padres recurrentes) y los genotipos con gen afila Dove, ILS3575 e ILS3568 (padres donantes).

Para la obtención de las familias F3 mencionadas, en la generación F2RC2 de los cruzamientos Andina x Dove y Sindamanoy x ILS3568, las cuales presentaban el 87.5% de recuperación del padre recurrente y en la generación F2RC1 de Sindamanoy x Dove, Sindamanoy x ILS3575, Sindamanoy x ILS3568 y Andina x Dove, San Isidro x ILS3575, con 75% de recuperación del padre recurrente, se realizó la selección de plantas individuales con gen afila.



Figura 4. Líneas afila para evaluación por componentes de rendimiento, establecidas en lote experimental, ubicado en las instalaciones del Centro Internacional de Producción Limpia – Lope del SENA (N).

Las 208 familias F3 se sometieron a una selección visual, teniendo como criterio de selección conceptos básicos de metodologías de selección y ajustados a las necesidades del Programa de Mejoramiento de arveja (Cubero, 2000 y Xu, 2003), acordando clasificar plantas de porte erecto, de entrenudos cortos, de altura mediana con un rango de aceptación de $>1\text{ m} < 2,50\text{ m}$, estipulas grandes; que presentaron buena eficiencia en carga y alto número de vainas por planta y número de granos por vaina no menor a 6.

Los mencionados criterios de selección fueron observables en la colección de 208 familias F3 con gen afila sembradas en campo. Dentro de las familias de mejor comportamiento, se realizó selección individual de plantas cuando estas se encontraban en estado de llenado de grano. La cosecha se efectuó cuando el 90% de las plantas llegaron a su estado de madurez en seco. Se seleccionaron 105 plantas individuales cuya semilla constituye las líneas F4 que se utilizaron en la siguiente fase de evaluación (Tabla 1).

Tabla 1. Genealogía de 105 líneas seleccionadas por criterios de arquitectura y carga.

<i>línea</i>	GENEALOGIA	IDENTIFICACIÓN
1	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL102-F4RC1SM	AXDRC1102
2	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL24-F4RC1SM	AXDRC124
3	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL100-F4RC1SM	AXDRC1100
4	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL101-F4RC1SM	AXDRC1101
5	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL11-F4RC1SM	AXDRC111
6	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL111-F4RC1SM	AXDRC1111
7	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL20-F4RC1SM	AXDRC120
8	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL21-F4RC1SM	AXDRC121
9	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL25-F4RC1SM	AXDRC125
10	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL28-F4RC1SM	AXDRC128
11	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL30-F4RC1SM	AXDRC130
12	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL31-F4RC1SM	AXDRC131
13	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL33-F4RC1SM	AXDRC133
14	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL34-F4RC1SM	AXDRC134
15	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL35-F4RC1SM	AXDRC135
16	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL36-F4RC1SM	AXDRC136
17	AndinaxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL136-F4RC1SM	AXDRC1136
18	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL1-F4RC2SM	AXDRC21
19	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL12-F4RC2SM	AXDRC212
20	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL13-F4RC2SM	AXDRC213
21	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL14-F4RC2SM	AXDRC214
22	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL15-F4RC2SM	AXDRC215
23	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL151-F4RC2SM	AXDRC2151
24	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL18-F4RC2SM	AXDRC218
25	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL19-F4RC2SM	AXDRC219
26	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL2-F4RC2SM	AXDRC22
27	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL3-F4RC2SM	AXDRC23
28	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL4-F4RC2SM	AXDRC24
29	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL40-F4RC2SM	AXDRC240
30	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL5-F4RC2SM	AXDRC25
31	AndinaxDove F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL9- F4RC2SM	AXDRC29
32	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL100-F4RC1SM	SIXDRC1100
33	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL29-F4RC1SM	SIXDRC129
34	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL34-F4RC1SM	SIXDRC134
35	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL41-F4RC1SM	SIXDRC141

<i>línea</i>	GENEALOGIA	IDENTIFICACIÓN
36	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1S PL43I-F4RC1SM	SIXDRC143
37	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1S PL48I-F4RC1SM	SIXDRC148
38	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL51-F4RC1SM	SIXDRC151
39	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL52-F4RC1SM	SIXDRC152
40	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL54-F4RC1SM	SIXDRC154
41	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL55-F4RC1SM	SIXDRC155
42	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL62-F4RC1SM	SIXDRC162
43	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL64-F4RC1SM	SIXDRC164
44	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL66 -F4RC1SM	SIXDRC166
45	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL68-F4RC1SM	SIXDRC168
46	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL69-F4RC1SM	SIXDRC169
47	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL73-F4RC1SM	SIXDRC173
48	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL80-F4RC1SM	SIXDRC180
49	San IsidroxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL83-F4RC1SM	SIXDRC183
50	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL1-F4RC1SM	SX3568RC11
51	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI-PL17 F4RC1SM	SX3568RC117
52	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL24-F4RC1SM	SX3568RC124
53	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL25-F4RC1SM	SX3568RC125
54	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL28-F4RC1SM	SX3568RC128
55	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL40-F4RC1SM	SX3568RC140
56	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL5-F4RC1SM	SX3568RC15
57	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL58-F4RC1SM	SX3568RC158
58	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL59-F4RC1SM	SX3568RC159
59	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL6-F4RC1SM	SX3568RC16
60	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL64-F4RC1SM	SX3568RC164
61	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL66-F4RC1SM	SX3568RC166
62	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL67-F4RC1SM	SX3568RC167
63	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL17-F4RC1SM	SX3568RC17
64	Sindamanoyx3568 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL9-F4RC1SM	SX3568RC19
65	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL100-F4RC2SM	SX3568RC2100
66	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL12-F4RC2SM	SX3568RC212
67	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL15-F4RC2SM	SX3568RC215
68	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL17-F4RC2SM	SX3568RC217
69	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL21- F4RC2SM	SX3568RC221
70	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL26-F4RC2SM	SX3568RC226
71	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL28-F4RC2SM	SX3568RC228
72	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL23-F4RC2SM	SX3568RC23
73	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL31-F4RC2SM	SX3568RC231
74	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL32-F4RC2SM	SX3568RC232

N°	GENEALOGÍA	IDENTIFICACIÓN
75	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL24-F4RC2SM	SX3568RC24
76	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL26-F4RC2SM	SX3568RC26
77	Sindamanoyx3568 F1RC1- F1RC2-F2RC2SI-F3RC2SI PL28- F4RC2SM	SX3568RC28
78	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL1-F4RC1SM	SX3575RC11
79	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL10-F4RC1SM	SX3575RC110
80	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL11-F4RC1SM	SX3575RC111
81	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL12-F4RC1SM	SX3575RC112
82	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL13-F4RC1SM	SX3575RC113
83	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL16-F4RC1SM	SX3575RC116
84	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL18-F4RC1SM	SX3575RC118
85	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL20-F4RC1SM	SX3575RC120
86	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL14-F4RC1SM	SX3575RC14
87	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL17-F4RC1SM	SX3575RC17
88	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL18-F4RC1SM	SX3575RC18
89	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL19-F4RC1SM	SX3575RC19
90	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PLX1-F4RC1SM	SX3575RC1X1
91	Sindmaoyx3575 F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PLX2-F4RC1SM	SX3575RC1X2
92	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL16-F4RC1SM	SXDRC116
93	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL18-F4RC1SM	SXDRC118
94	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL45-F4RC1SM	SXDRC145
95	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL56-F4RC1SM	SXDRC156
96	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL65-F4RC1SM	SXDRC165
97	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL17-F4RC1SM	SXDRC17
98	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL70-F4RC1SM	SXDRC170
99	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL71-F4RC1SM	SXDRC171
100	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL82-F4RC1SM	SXDRC182
101	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL84-F4RC1SM	SXDRC184
102	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL85-F4RC1SM	SXDRC185
103	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL86-F4RC1SM	SXDRC186
104	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL87-F4RC1SM	SXDRC187
105	SindamanoyxDove F1RC1-F2RC1SI-F3RC1SI PL89-F4RC1SM	SXDRC189

2.3 ÍNDICE DE SELECCIÓN

Las 105 líneas F4 con gen afila seleccionadas, se llevaron a una prueba de evaluación preliminar por componentes de rendimiento, en cinco bloques de 21 líneas. A cada línea le correspondió un surco de 3 m, con distancia entre surco de 1,2 m y distancia entre sitios de 0,10 m depositando una semilla por sitio. En cada bloque se colocó como testigo la variedad comercial Andina.

2.3.1 VARIABLES EVALUADAS

- ❖ **Largo de entrenudos:** se seleccionaron tres plantas al azar por surco y se midió el largo de tres entrenudos por planta en centímetros (m), tomando la medida de uno de la parte superior, otro de la media y en la parte inferior para obtener su promedio.
- ❖ **Largo de vaina:** se determinó el largo de cinco vainas por planta, obteniendo el promedio en centímetros.
- ❖ **Peso de vaina verde:** de cada unidad experimental se tomaron al azar 15 vainas llenas y se determinó el promedio.
- ❖ **Número de granos por vaina:** de cada unidad experimental se tomó al azar 15 vainas, se contaron sus granos y se dividió entre 15 para obtener el promedio.
- ❖ **Peso de 100 granos verdes:** Se tomaron de la parcela experimental de cada una de las líneas evaluadas, 100 granos en verde y se registró su peso en gramos.
- ❖ **Relación grano/vaina:** de la parcela útil se tomaron al azar 15 vainas llenas y se registró su peso en gramos, posteriormente las 15 vainas se desgranaron, registrando el peso de sus granos, este último se dividió entre el peso de las 15 vainas llenas.
- ❖ **Evaluación por enfermedades:** se evaluaron las enfermedades presentes en el cultivo de acuerdo a la escala de severidad de *Ascochyta* y Oídio.

Escala de severidad para evaluación de *Ascochyta (Ascochyta pisi)* (Orbes y Becerra 1982):

- 1= Sin evidencia visible de la enfermedad o presencia de lesiones pequeñas del 1 al 10% del tejido afectado.
- 2= Del 10 al 25% de tejido afectado en los diferentes órganos de la planta.
- 3= Del 25 al 50% de tejido afectado en los diferentes órganos de la planta
- 4= Del 50 al 75% de tejido afectado en los diferentes órganos de la planta
- 5= Del 75 al 100 % de tejido afectado en los diferentes órganos de la planta

Escala de severidad para evaluación de oídio (*Eryshipe pisi*) (Fallón et al., 1989):

- 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% de del área foliar afectada.
- 4= MS moderadamente susceptible. Del 51 al 75% del área foliar afectada.
- 5= S susceptible. Del 76 al 100 % de del área foliar afectada.

- ❖ **Días a cosecha:** cuando el 75% de las vainas de la planta llegaron a estado de llenado de grano y presentaron textura roñosa en las vainas.
- ❖ **Altura de planta:** al momento del llenado de grano se determinó la altura de la planta desde el cuello del tallo hasta el último ápice.
- ❖ **Número de estipulas:** se seleccionaron tres plantas al azar por surco y se contaron el número de estipulas del tallo principal.
- ❖ **Área de la estipula:** en la parcela experimental se tomaron tres plantas de cada una se tomó la medida de tres pares de estipulas. Se midió la longitud (cm) por la vena central y el ancho máximo (cm) perpendicular a la vena de cada estipula. Se determinó el área promedia por planta.

Para establecer el orden de mérito de las líneas evaluadas se utilizó un índice de selección dando diferentes pesos a las variables en estudio. Para evitar que el peso de las unidades de medida de las variables afecte el índice, los datos fueron previamente estandarizados. El peso relativo asignado a las diferentes variables se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Peso relativo de las variables para evaluación de 105 por índice de selección.

Variable	Peso relativo de la variable
Días a cosecha en vaina verde (DCVV)	6
Altura de planta (ALT)	7
Número de estipulas (NEST)	7
Largo de entrenudos (LENT)	5
Área de estipulas (AEST)	7
Largo de vaina (LV)	7
Peso de vaina verde (PVV)	10
Relación grano/vaina (G/V)	10
Número de granos por vaina (NGV)	9
Peso de 100 granos verdes (PCGV)	9
Ascochyta pisi	5
Erysiphe pisi	5

Los componentes de rendimiento de mayor peso en el índice de selección fueron peso de vaina verde (PVV) y relación grano/vaina (G/V), los cuales son de mayor importancia porque se relacionan con las preferencias de los agricultores, comerciantes y consumidores, quienes demuestran mayor aceptación por las vainas de buen peso y por genotipos en los cuales el grano supere el peso de la vaina sin grano. En consecuencia, a este componente se le dio un peso relativo de 10.

Las variables número de granos por vaina (NGV) y peso de 100 granos verdes (PCGV), hacen parte de las características que le dan precio a la arveja en el mercado en vaina verde, por lo tanto se les dio un peso relativo de 9. La variable altura de planta (ALT) se clasificó en una escala de 1 a 5, teniendo en cuenta que los genotipos deseables son aquellos ubicados en un rango entre 1,5 y 2 m (Tabla 3).

Tabla 3. Escala de calificación para la variable altura de planta para evaluación de 105 líneas por índice de selección.

Calificación	Rango de altura
5	>1,50 < 2 m
4	>2,1 < 2,5 m
3	>2,5 m
2	>1 < 1,49 m
1	< 1 m

Las variables número de estipulas (NEST), área de estipulas (AEST) y largo de vaina (LV) tuvieron una importancia intermedia, asignándoles un peso relativo de 7. Así mismo, días a cosecha (DCVV) se estableció un peso relativo de 6. Las enfermedades ascochyta y oídio son comunes en el cultivo de arveja y el agricultor las maneja con el uso de fungicidas preventivos y curativos, existiendo en el mercado una amplia oferta para su control. Como en la presente investigación no se usó como progenitores, genotipos con reconocida respuesta de resistencia a estos patógenos, la variación en las líneas evaluadas fue reducida. En consecuencia, el peso relativo para esta característica fue de 5.

Para una presión de selección del 20% el índice de selección se calculó de la siguiente manera:

Índice de selección = $(X_{STD} \text{ DCVV}) \times 6 + (X_{STD} \text{ ALT}) \times 7 + (X_{STD} \text{ NEST}) \times 7 + (X_{STD} \text{ LENT}) \times 5 + (X_{STD} \text{ AEST}) \times 7 + (X_{STD} \text{ LV}) \times 7 + (X_{STD} \text{ PVV}) \times 10 + (X_{STD} \text{ G/V}) \times 10 + X_{STD} \text{ NGV}) \times 9 + (X_{STD} \text{ PCGV}) \times 9 + (X_{STD} \text{ Ascochyta}) \times 5 + (X_{STD} \text{ Erysiphe}) \times 5$, en donde XSTD corresponde la promedio estandarizado de cada variable.

2.4 EVALUACIÓN POR COMPONENTES DE RENDIMIENTO

Una vez aplicado el índice de selección se escogieron 21 líneas F5 que se evaluaron por componentes de rendimiento, utilizando un diseño de bloque al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones; cada repetición presentó un área de 2000 m², en donde la parcela principal la constituyeron dos densidades de siembra de 166.666 y 83.333 plantas.ha⁻¹ y la subparcela 24 genotipos de los cuales, 21 correspondieron a las líneas seleccionadas con gen afila y tres a los testigos comerciales Andina, San Isidro y Sindamanoy. La unidad experimental fue de 12 m², correspondiendo a cada tratamiento dos surcos de 5 m de largo.

Con el fin de evitar el efecto de borde, las parcelas se sembraron en forma contigua sin dejar calle entre ellas y únicamente el primero y último surco de cada bloque fue sembrado con una variedad comercial. Para el área útil se descartaron los extremos de los surcos de la unidad experimental, obteniéndose un área de 11.52 m², correspondientes a dos surcos de 4,80 m de largo.

El modelo estadístico fue el siguiente:

$Y_{ij} = U + B_i + T_j + BT_{ij} + Y_k + TY_{jk} + E_{ijk}$ en donde:

U = efecto de la media

B_i = efecto del iésimo bloque

T_j = efecto del jtaésimo densidad

BT_{ij} = efecto del error del factor densidad (error a)

Y_k = efecto del k-ésimo genotipo

TY_{jk} = efecto de la interacción densidad x genotipo

E_{ijk} = efecto aleatorio de la varianza o error del modelo (error b)

2.4.1 Variables Evaluadas

Días a floración: Se tomó cuando el 50% de las plantas presentaron la primera flor abierta (Figura 5).

❖ **Altura de planta:** de la parcela útil de cada uno de los genotipos en evaluación se tomó al azar tres plantas cuando estaban en llenado de grano, determinado la altura de las plantas desde el cuello del tallo hasta el último ápice, se registró el promedio en centímetros (Figura 6.)



Figura 5. Lote experimental de líneas de arveja afila en estado de floración, ubicado en el SENA (N).



Figura 6. Registro de la variable altura en Lote experimental de líneas con gen afila ubicado en el SENA (N).

- ❖ **Días a cosecha en vaina verde:** cuando el 75% de las vainas de la planta llegó a estado de llenado de grano.
- ❖ **Número de estípulas:** de la parcela útil se seleccionaron tres plantas al azar y se contaron el número de estípulas del tallo principal, registrando el promedio de las tres plantas.
- ❖ **Largo de vaina:** de 10 vainas tomadas al azar del tercio medio de las plantas en la parcela útil se registró el largo de cada una de las vainas en centímetros y se sacó el promedio (Figura 7).



Figura 7. Lectura de largo de vaina de SX3568RC166 en la evaluación por componentes de rendimiento de 21 líneas afila.

- ❖ **Número de granos por vaina:** De cada unidad experimental se tomó al azar 15 vainas, se contaron sus granos y el total se dividió entre las 15 vainas para obtener el promedio (Figura 8).
- ❖ **Número de vainas por planta:** En la unidad experimental se contó el número total de vainas y se dividió entre el número de plantas para obtener el promedio.
- ❖ **Peso de vaina verde:** Se tomó pesando 15 vainas llenas al azar de cada unidad experimental y se determinó el promedio.
- ❖ **Relación grano/vaina:** se tomaron 15 vainas al azar de la parcela útil y se registró su peso en gramos, posteriormente las 15 vainas fueron desgranadas, registrando el peso del total de granos, el cual fue dividido entre el peso de las 15 vainas llenas.
- ❖ **Peso de 100 granos verdes:** de la parcela útil cada una de las líneas se pesaron 100 granos verdes y se registró su peso en gramos.
- ❖ **Rendimiento:** se determinó el rendimiento cuando algunas de las vainas bajas iniciaron su proceso de dehiscencia y las vainas del tercio medio estaban para cosecha en verde, es decir con la epidermis roñosa; para ello se cosecharon los dos surcos de la parcela experimental y se registró el peso de sus vainas llenas en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.



Figura 8. Lectura del peso de 100 granos verdes de líneas de arveja en la evaluación por componentes de rendimiento.

Los resultados se sometieron a Análisis de Varianza y la prueba de comparación de promedios de Duncan. Las variables en las que se presentó significancia se analizaron por correlación genética, utilizando el programa GENES (Cruz, 2006), con el que se aplicó el siguiente modelo:

$$\text{Correlación genética: } r_G(xy) = \text{cov } G(xy) / s_G(x) \cdot s_G(y)$$

En donde, $r(xy)$ y $\text{cov}(xy)$ corresponden a las correlaciones y covarianza genéticas (r_G) entre las variables x y y . La significancia estadística de la correlación se determinó utilizando la prueba de t (Espitia *et al.*, 2008).

Con el fin de establecer los efectos directos e indirectos de los diferentes componentes sobre el rendimiento en vaina verde de arveja, para las correlaciones genéticas, se efectuó un Análisis de Sendero, utilizando el Paquete GENES desarrollado por Cruz (2006).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 SELECCIÓN DE LÍNEAS EN GENERACIÓN F4

Para la variable días a cosecha en vaina verde los datos fueron interpretados negativamente, con la finalidad de que no tuvieran alto puntaje aquellas líneas con mayor número de días a cosecha, es decir de tipo tardías; la línea SX3575RC112 con 107 días se mostró como el material más precoz (Tabla 4).

Para altura de planta los valores oscilaron entre 1,5 y 2,5 m con puntajes de 4 y 5 respectivamente. En cuanto al largo de entrenudo la variación observada en las líneas estuvo en un rango comprendido entre 16,11 cm y 10,99 cm; las líneas con mayor altura pueden verse favorecidas en rendimiento, porque esta variable cuantitativa en parte condiciona el número total de nudos y a la distancia de entrenudos, características proporcionadas por los genes *miu mie*, *min*, *Le* y *af* e influenciadas por el ambiente (Khvostova, 1983, Burstin, *et al.*, 2007). No obstante, las plantas con alturas superiores a 2 m incrementan los costos de actividades como el tutorado y cosecha (Pacheco, 2011).

Por otra parte, en la variable número de estípulas, las 105 líneas presentaron entre 20 y 28 estípulas por planta; en cuanto al área foliar osciló entre 46 y 152 cm². Los genotipos tipo afila seleccionados cuentan con un número representativo de estípulas, lo cual es una característica importante, ya que la modificación de hojas por zarcillos disminuye el área fotosintética y la estípulas se convierten en el órgano de mayor captación de luz en ausencia de los folíolos.

El peso de vaina de las líneas con gen afila evaluadas fluctuó entre 3,73 y 10,2 g. Hofer *et al.* (1997) explica que la reducción del área foliar no afecta la floración ni la capacidad de producir vainas, por lo cual, los guisantes tipo afila pueden presentar igual o mayor productividad que los cultivares convencionales, por la captación de luz que se presenta en órganos como las estípulas, zarcillos jóvenes y los tallos (Cote, 1992).

Para la evaluación de enfermedades de Oídio y Ascochyta, se tomaron escalas ya establecidas (Falloon *et al.*, 1989; Orbes y Becerra, 1982), por lo que fue necesario para el índice de selección invertir los valores negativamente, para mantener la escala de forma ascendente, para ascochyta se presentaron grados de 1 a 3, es decir de altamente resistente a moderadamente resistente, mientras que para oídio se observaron valores de severidad menores del 50%, lo cual significa que no superaron la calificación de 3 en la escala de 1 a 5, ubicándose entre moderadamente resistentes y altamente resistentes.

De acuerdo con las variables evaluadas, el índice de selección aplicado en las 105 líneas de arveja con una presión de selección del 20%, permitió clasificar por orden de mérito 21 líneas (Tabla 5.), de las cuales 19 corresponden a la generación F4RC1, procedente de los cruzamientos Sindamanoy x ILS3575, Sindamanoy x ILS3568, San Isidro x Dove y Sindamanoy x Dove con una recuperación del 75% del padre recurrente correspondiente a las variedades Andina, Sindamanoy y San isidro. Tan solo dos líneas fueron seleccionadas en la generación F4RC2 pertenecientes al cruzamiento Andina x Dove, donde existe una recuperación del padre recurrente (Andina) del 87,5%.

Las variedades mejoradas que se utilizaron en el retrocruzamiento como padres recurrentes Andina, Sindamanoy y San Isidro presentan características deseables especialmente relacionadas con adaptación, tamaño de grano y rendimiento, sin embargo algunos de sus componentes de rendimiento pueden presentar deficiencias o ser susceptibles de mejoramiento, entre ellos, relación grano/vaina (G/V), número de granos por vaina (NGV) y altura de planta (ALT), para los cuales acercarse más al fenotipo de las variedades mejoradas antes mencionadas no resultaría deseable. En consecuencia, como el índice de selección le dio peso específico a estas variables, en el orden de mérito obtenido, los genotipos de la retrocruza dos (RC2) pudieron aparecer con menor frecuencia dentro de los seleccionados. Adicionalmente, la menor frecuencia de los genotipos derivados de la RC2, también está relacionada con el menor número de ellos que corresponden solo al 26% de las 105 líneas sometidas al índice de selección.

Tabla 4. Promedios de 21 líneas seleccionadas por orden de mérito a una presión del 20% en el índice de selección.

Línea	GENOTIPO	DCVV	ALT	NEST	LENTRE	AEST	LV	PVV	G/V	NGV	PCGV	ASCH	OIDIO
1	AXDRC24	-112	5	23,3	11,7	94,0	7,6	6,13	0,59	7	51,92	-1	-3
2	AXDRC215	-112	5	24,9	11,8	99,9	8,3	6,27	0,56	6	45,88	-1	-1
3	SIXDRC183	-115	4	22,3	11,0	85,1	9,4	6,73	0,68	7	31,00	-2	-2
4	SIXDRC1100	-115	5	25,8	14,0	151,7	9,2	7,67	0,67	7	38,78	-2	-2
5	SIXDRC166	-112	5	22,8	12,9	76,2	8,1	7,87	0,65	7	71,30	-2	-2
6	SIXDRC154	-112	5	21,6	13,2	79,1	8,2	7,00	0,65	7	34,29	-2	-2
7	SIXDRC151	-112	5	17,7	15,6	97,8	8,9	7,80	0,70	7	78,85	-3	-2
8	SX3568RC17	-112	4	20,4	11,5	96,4	8,9	10,20	0,58	8	76,07	-2	-2
9	SX3568RC19	-112	4	21,3	12,2	77,8	9,7	8,53	0,65	7	77,57	-2	-2
10	SX3568RC117	-112	4	25,6	10,6	46,8	7,1	5,47	0,72	6	67,05	-1	-1
11	SX3568RC166	-112	4	26,3	11,3	99,3	8,9	7,93	0,62	7	75,51	-2	-2
12	SX3568RC128	-112	4	25,7	11,9	79,5	9,4	6,87	0,67	6	42,70	-2	-2
13	SX3568RC11	-112	4	22,3	12,4	58,0	7,5	7,00	0,92	7	92,38	-3	-2
14	SX3575RC113	-112	5	26,7	11,1	69,1	7,5	5,60	0,69	6	27,37	-1	-2
15	SX3575RC19	-112	4	28,7	11,3	50,2	9,5	8,60	0,64	7	43,40	-1	-3
16	SX3575RC120	-112	4	23,4	12,2	102,8	9,0	7,33	0,64	7	64,22	-2	-2
17	SX3575RC112	-107	5	20,6	12,1	97,7	9,3	7,53	0,66	7	38,78	-2	-3
18	SX3575RC18	-112	4	24,9	13,0	88,3	8,5	6,67	0,73	7	73,00	-3	-3
19	SX3575RC1X1	-118	5	20	13,2	91,8	8,9	6,60	0,69	7	61,82	-3	-1
20	SXDRC156	-118	4	24,3	16,1	75,7	8,6	7,00	0,68	7	68,27	-2	-1
21	SXDRC118	-118	4	22,6	12,5	81,4	9,4	7,80	0,72	6	35,11	-2	-1

Tabla 5. 21 líneas promisorias de arveja con gen afila en orden de mérito de acuerdo con los resultados del índice de selección.

Línea	Genotipo	DCVV	ALT	NEST	LENTRE	AEST	LV	PVV	G/V	NGV	PCGV	ASCH	OIDIO	IND SELEC
1	SX3568RC17	3,54	-4,38	-5,34	5,36	1,81	6,89	36,09	-9,72	20,87	13,80	0,00	0,00	68,93
2	SX3575RC19	3,54	-4,38	14,04	6,13	-8,65	13,26	21,55	0,57	11,30	-2,35	7,94	-6,85	64,03
3	SX3568RC19	3,54	-4,38	-3,24	2,87	-2,40	15,80	20,94	1,41	12,17	14,54	0,00	0,00	61,25
4	SX3568RC11	3,54	-4,38	-0,89	2,22	-6,89	-7,32	7,00	47,30	10,43	21,86	-7,94	0,00	57,01
5	SIXDRC1100	-1,77	10,21	7,23	-3,53	14,32	10,50	13,06	4,93	4,35	-4,63	0,00	0,00	54,66
6	SX3568RC166	3,54	-4,38	8,54	6,25	2,47	6,68	15,48	-3,03	4,35	13,52	0,00	0,00	53,43
7	SIXDRC166	3,54	10,21	0,16	0,21	-2,76	-0,95	14,88	2,09	13,04	11,44	0,00	0,00	51,86
8	SX3575RC120	3,54	-4,38	1,73	2,71	3,25	7,95	10,03	-0,61	13,91	7,94	0,00	0,00	46,09
9	SX3575RC112	12,39	10,21	-5,08	3,31	2,09	11,14	11,85	3,95	4,35	-4,63	0,00	-6,85	42,72
10	SIXDRC154	8,85	-4,38	-3,51	0,41	3,08	12,20	14,27	12,99	0,87	-6,45	0,00	0,00	38,34
11	SIXDRC151	3,54	10,21	-11,89	-9,45	2,13	6,68	14,27	10,14	9,57	15,17	-7,94	0,00	34,50
12	AXDRC215	3,54	10,21	5,14	4,21	2,59	1,17	0,33	-12,70	-6,96	-1,12	7,94	6,85	29,13
13	SXDRC118	-7,08	-4,38	-0,36	1,74	-1,59	12,20	14,27	12,99	0,87	-6,45	0,00	6,85	29,06
14	SX3575RC113	3,54	10,21	9,33	6,85	-4,38	-7,74	-5,73	8,41	1,74	-10,27	7,94	0,00	27,83
15	SX3575RC1X1	-7,08	10,21	-5,86	-0,92	0,76	6,89	3,36	7,81	14,78	6,76	-7,94	6,85	27,69
16	SX3568RC117	3,54	-4,38	6,71	8,66	-9,42	-11,56	-6,94	13,25	-4,35	9,34	7,94	6,85	27,58
17	AXDRC24	3,54	10,21	1,47	4,68	1,27	-6,47	-0,88	-8,84	9,57	1,86	7,94	-6,85	25,43
18	SX3568RC128	3,54	-4,38	6,97	3,75	-2,02	11,98	5,79	4,98	-3,48	-2,70	0,00	0,00	24,45
19	SX3575RC18	3,54	-4,38	5,14	-0,07	-0,03	2,65	3,97	15,00	6,09	12,28	-7,94	-6,85	21,46
20	SXDRC156	-7,08	-4,38	3,83	-11,34	-2,87	3,71	7,00	6,03	9,57	9,94	0,00	6,85	21,26
21	SIXDRC183	-1,77	-4,38	-0,89	7,21	-0,75	12,41	4,58	7,19	6,09	-8,48	0,00	0,00	21,22

3.2 EVALUACIÓN POR COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE 21 LÍNEAS SELECCIONADAS.

Los resultados del Análisis de varianza muestran que en densidades de siembra se encontró diferencias altamente significativas para la variable días a floración (DF). Para los genotipos evaluados se encontraron diferencias altamente significativas en las variables largo de vaina (LV), peso de vaina verde (PVV), relación grano/vaina (GXV), peso de cien granos verdes (PCGV). La interacción densidad por genotipo fue altamente significativa para el número de vainas por planta (NVP) y significativa para rendimiento (REND) (Tabla 6).

Tabla 6. Cuadrados medios para las variables: días a floración (DF), días a cosecha en vaina verde (DCVV), altura (ALT), número de estipulas (NESTT), largo de vaina (LV), número de grano por vaina (NGV), número de vainas por planta (NVP), peso de vaina verde (PVV), relación grano/vaina (G/V), peso de cien granos verdes (PCGV) y rendimiento (REND).

F de V	GL	DF	DCVV	ALT	NESTT	LV	NGV
Repetición	2	25,86	801,69	0,08	652,71	1,94	0,18
Densidad	1	128,44 **	31,17 ns	0,006 ns	126,56 ns	3,21 ns	0,11 ns
Error a	2	2,52	6,36	0,007	74,52	0,41	0,006
Genotipo	23	23,43 ns	36,03 ns	0,034 ns	82,81 ns	3,24 **	1,09 ns
Dend x Genot	23	21,09 ns	10,68 ns	0,016 ns	62,73 ns	1,49 ns	0,60 ns
Error b	92	23,15	20,47	0,020	61,41	0,41	0,75
CV		8,72	1,17	9,80	23,13	7,55	14,18
F de V	GL	NVP	PVV	GXV	PCGV	REND	
Repetición	2	17,42	1,79	0,002	71,45	14896106,5	
Densidad	1	584,02 *	1,69 ns	0,000 ns	80,79 ns	3231605,44 *	
Error a	2	25	0,62	0,003	62,08	118157,22	
Genotipo	23	34,92 ns	5,89 **	0,010 **	308,99 **	2925747,87 **	
Dend x Genot	23	59,39 **	1,34 ns	0,003 ns	59,27 ns	2153530,69 *	
Error b	92	29,70	1,12	0,003	67,95	1083644	
CV		37,08	14,66	11,30	13,60	37,0067	

3.2.1 Días a floración (DF). La comparación de densidades de siembra para la variable días a floración, presentó una diferencia de dos días entre la población de 83.333 plantas.ha⁻¹ que floreció a los 56 días y la población de 166.666 plantas.ha⁻¹ que lo hizo a los 54 días (Tabla 7).

La leve reducción en los días a floración resultante del incremento en la densidad de siembra sugiere que esta variable es sensible a la densidad de población y a las condiciones ambientales tal como lo afirma Gonzales y Ligarreto (2006); los procesos fenológicos de la floración en condiciones de alta densidad puede verse afectados por cambios en las condiciones ambientales, la floración en gran medida depende de la longitud del fotoperiodo y la temperatura (Berbel, 2005).

Estos resultados coinciden con los encontrados por Casanova *et al* (2012), quienes reportaron que los genotipos sembrados a mayor densidad (666.666 plantas.ha⁻¹) lograron una floración más temprana (56 días) en relación a los sembrados a una densidad menor (250.000 plantas.ha⁻¹) que fueron más tardíos (62 días). No obstante, Azpilicueta *et al* (2012), encontraron que en densidades de 75, 105 y 125 plantas.m² no se encontraron diferencias para días a floración. Lo anterior, indica que al pasar de bajas a altas densidades de población se puede observar una leve reducción en los días a floración, sin embargo aumentar la densidad cuando ésta ya es alta (75 plantas por m²), no produce ningún efecto adicional sobre esta variable.

Por otro lado, la floración puede variar de acuerdo con la susceptibilidad del material vegetal a estas condiciones. En arveja, algunos materiales genéticos requieren únicamente de un fotoperiodo favorable para florecer, otros de una conjugación de temperatura y fotoperiodo; incluso hay algunos que son insensibles al fotoperiodo (Galindo y Clavijo, 2009). En el presente estudio, los genotipos evaluados no mostraron diferencias estadísticas para esta variable ni tampoco un comportamiento diferencial de los mismos a través de las densidades, atribuyéndose a una similitud en la constitución genética que controla esta característica en todos los materiales evaluados.

Tabla 7. Comparación de densidades para la variable días a floración.

Días a Floración	
Densidad	Promedio
Densidad 1	56A
Densidad 2	54B

+ Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$)

Densidad 1 = Corresponde a la densidad de 83.333 plantas.ha⁻¹
Densidad 2= Corresponde a la densidad de 166.666 plantas.ha⁻¹

3.2.2 Largo de vaina (LV). El largo de vaina osciló entre 9,28 y 7,5 cm. El 79% de los genotipos evaluados mostraron un largo de vaina estadísticamente similar a los testigos San Isidro y Sindamanoy que tuvieron un promedio de 9,07 y 9,0 cm, respectivamente; mientras que 91% de las líneas igualaron estadísticamente a la variedad Andina. Se destaca la línea SIXDRC151 con 9,28 cm, la cual supera al 47,6% de los genotipos evaluados, no obstante tiene un promedio estadísticamente igual a los testigos (Tabla 8). Esta línea tiene como uno de sus parentales a la variedad San Isidro que fue reportada por Ligarreto y Ospina (2009), como uno de los progenitores que aportó positivamente a esta característica en su programa de mejoramiento para esta especie.

Tabla 8. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (*Pisum sativum* L.) para la variable largo de vaina.

Largo de vaina (cm)			
Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio
SIXDRC151	9,28 A	SIXDRC1100	8,48 ABCD
SINDA	9,07 AB	SX3568RC17	8,45 ABCD
SISIDRO	9 AB	SIXDRC183	8,35 BCDE
SX3575RC120	9 AB	SIXDRC166	8,27 BCDE
SXDRC118	8,95 AB	SXDRC156	8,2 BCDE
SX3575RC18	8,88 ABC	AXDRC24	8,2 BCDE
SX3568RC19	8,85 ABC	AXDRC215	8,17 BCDE
SX3575RC19	8,73 ABCD	SX3568RC11	8,02 CDE
SX3575RC1X1	8,73 ABCD	SX3568RC117	7,88 DE
SX3575RC112	8,73 ABCD	SIXDRC154	7,88 DE
SX3568RC166	8,72 ABCD	SX3568RC128	7,55 E
ANDINA	8,72 ABCD	SX3575RC113	7,5 E

+ Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$)

La similitud observada en el 79% de los genotipos con los testigos Sindamanoy y San Isidro y en el 90% con Andina, puede explicarse si se tiene en cuenta, que las líneas evaluadas se han obtenido por procesos de retrocruzamiento (RC1 y RC2) con las variedades testigo antes mencionadas y por lo tanto, existe una recuperación de las características deseables de estas variedades en 75% y 87,5%. En los procesos de retrocruzamiento realizados para la obtención de las líneas con gen afila se produce una recuperación de los genes que responden por esta variable cuantitativa cuyos efectos aditivos permiten lograr la similitud con los

padres recurrentes. Al respecto Espinosa y Ligarreto (2005) manifiestan que el largo de vaina, está gobernado en su mayor parte por efectos aditivos.

Los resultados se diferencian del rango obtenido para esta variable en la evaluación preliminar de las líneas en generación F4, en donde se observó mayor variabilidad con promedios entre 6,88 cm y 9,72 cm, lo cual demuestra que en la generación F5 hay mayor uniformidad resultante del proceso de selección entre las líneas evaluadas que se acercan más al parental recurrente en cada cruzamiento, logrando recuperar el largo de vaina deseable de las variedades mejoradas Andina, San Isidro y Sindamanoy y mayor estabilidad generacional de los materiales para esta característica.

3.2.3 Número de vainas por planta (NVP)

En la densidad de 83.333 plantas.ha⁻¹, el 28,6% de las líneas fueron estadísticamente iguales al testigo Andina y el 47,6% igualaron a San Isidro y Sindamanoy. Los materiales afila SIXDRC1100, SX3568RC19, SX3575RC18, SX3575RC1X1, SX3575RC113 y SX3568RC11 sobresalen por presentar promedios iguales o superiores a 18 vainas por planta (Tabla 9). Al respecto, Ligarreto y Ospina (2009) en el análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum* L.) encontraron que híbridos provenientes de las variedades Diacol Caldas, Santa Isabel y San Isidro presentaron promedios menores a 11 vainas por planta. En la presente investigación los materiales genéticos afila antes mencionados superan los resultados obtenidos por dicho estudio, demostrando que estas líneas son una buena alternativa para la selección por esta variable.

La línea afila SIXDRC1100 que alcanzó un promedio de 23 vainas por planta, tiene como uno de sus parentales a la variedad San Isidro. Este resultado contrasta con lo encontrado por Ligarreto y Ospina (2009) mencionado anteriormente. Para el departamento de Nariño, la variedad San Isidro muestra una excelente adaptación que permite una mejor expresión del potencial productivo que se traduce en un alto número de vainas por planta y rendimiento, el cual puede no lograrse en otras localidades. Adicionalmente, parte de las líneas afila de mayor promedio tienen un retrocruzamiento con San Isidro que les permite recuperar en un 75% características de esta variedad entre ellas la expresión del número de vainas por planta. Hofer *et al.* (2009) explica que los genes relacionados con la producción de hojas no se relacionan con los de producción de flores, por lo tanto la reducción del área foliar no afecta la floración, ni la capacidad de producir vaina; en consecuencia, es posible obtener igual o mayor productividad en guisantes tipo afila en comparación con los cultivares convencionales.

Para la densidad de 166.666 plantas.ha⁻¹ no se observaron diferencias significativas entre las líneas y los testigos evaluados, confirmando los resultados de Gonzales y Ligarreto (2006) quienes no encontraron diferencias entre líneas de arveja para número de vainas por planta, de igual forma, Casanova, *et al* (2012) determinaron que las densidades mayores a 83.333 y hasta 166.666 y plantas.ha⁻¹ fueron estadísticamente similares.

Tabla 9. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (*Pisum sativum* L.), para las densidades de planta evaluadas para la variable

Número de vainas por planta		
Genotipo	Densidad 1	Densidad 2
ANDINA	27 A	13 A
SANISIDRO	25 AB	13 A
SINDAMANOY	24 AB	14 A
SIXDRC1100	23 ABC	19 A
SX3568RC19	21 ABCD	14 A
SX3575RC18	20 ABCD	10 A
SX3575RC1X1	21 ABCDE	13 A
SX3575RC113	18 ABCDE	18 A
SX3568RC11	18 ABCDE	9 A
SX3568RC166	16 BCDE	13 A
SX3568RC17	16 BCDE	12 A
AXDRC24	16 BCDE	19 A
SIXDRC183	16 BCDE	10 A
SIXDRC154	15 CDE	13 A
SX3575RC19	15 CDE	10 A
SIXDRC151	14 CDE	19 A
AXDRC215	13 CDE	12 A
SX3568RC128	13 CDE	12 A
SIXDRC166	13 DE	15 A
SX3575RC112	13 DE	8 A
SX3575RC120	13 DE	10 A
SXDRC156	13DE	10 A
SX3568RC117	12 DE	8 A
SXDRC118	10 E	10 A

+ Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$)

Densidad 1 = Corresponde a la densidad de 83.333 plantas.ha⁻¹

Densidad 2= Corresponde a la densidad de 166.666 plantas.ha⁻¹

El fenómeno anterior, puede deberse a que el aumento en la densidad de siembra ocasiona mayor competencia entre plantas por luz y temperatura, afectando algunos caracteres como el número de vainas por planta; esto conlleva a una menor manifestación del potencial genético de algunos materiales y no permite su diferenciación dentro de la población estudiada. En igual sentido, Azpilicueta *et al.* (2012) encontraron que en cultivos a menor densidad, el 80% de las plantas tuvieron carga en cinco ramas mientras las de mayor densidad solo en tres ramas.

3.2.4 Peso de vaina verde

Según el ANDEVA, solo se presentaron diferencias entre genotipos, por lo tanto las densidades de siembra no afectaron esta variable. De igual forma, no se observó un comportamiento diferencial de los genotipos a través de las densidades. En la comparación de medias, el 54% de los genotipos fueron estadísticamente iguales, con promedios en peso de vaina verde entre 8,76 g y 7,35 g. El 47% de las líneas afila evaluadas tuvieron un promedio estadísticamente igual al testigo Sindamanoy, mientras que el 61% mostraron promedios iguales a San Isidro y Andina con un P-valor de 0,05. Sobresalen las líneas afila SIXDRC151 y SX3575RC1X1 con 8,45 g y 8,18 g, respectivamente, al igualar a los testigos Sindamanoy, San Isidro y Andina y superar al 33% de las demás líneas evaluadas (Tabla 10).

Tabla 10. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (*Pisum sativum* L.), para la variable peso de vaina verde.

Peso de vaina verde (g)			
Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio
SINDAMANOY	8,76 A	SIXDRC166	7,35 ABCDEFG
SIXDRC151	8,45 AB	SX3568RC19	7,21 BCDEFGH
SANISIDRO	8,28 ABC	SXDRC156	7,21 BCDEFGH
SX3575RC1X1	8,18 ABC	SX3575RC19	7,06 BCDEFGH
ANDINA	8,11 ABCD	SX3568RC17	6,92 CDEFGH
SIXDRC1100	8,07 ABCD	SIXDRC154	6,65 DEFGHI
SX3568RC166	7,88 ABCD	SIXDRC183	6,42 EFGHI
SXDRC118	7,85 ABCDE	SX3568RC128	6,32 FGHIJ
SX3575RC120	7,79 ABCDE	AXDRC24	6,01 GHIJ
SX3575RC18	7,76 ABCDE	SX3568RC117	5,91 IHJ
SX3568RC11	7,48 ABCDEF	AXDRC215	5,36 IJ
SX3575RC112	7,47 ABCDEF	SX3575RC113	4,99J

+ Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$)

La similitud estadística observada para peso de vaina verde entre los testigos Sindamanoy y San Isidro y la mayor parte de las líneas afila evaluadas, está relacionada con el origen de estas líneas que al obtenerse por retrocruzamiento usando como padre recurrente a las variedades antes mencionadas (San Isidro y Sindamanoy), tienden a recuperar las características deseables de las mismas. En contraste, para el caso de las líneas AXDRC24 y AXDRC215 se diferenciaron en el peso de las vainas con el testigo Andina que fue usado como su parental recurrente. Es posible, que en la fase anterior (F4) al aplicar el índice de selección, hayan aportado más otras variables diferentes al peso de vainas para la inclusión de estas líneas en la presente evaluación. Al respecto, Garzón y Gasca (1990) y Patiño., *et al*, (1997), argumentan que el peso de la vaina depende del tamaño, número, peso y madurez de los granos de dichas vainas, lo anterior, puede influenciar el comportamiento de progenies.

Por otra parte, el 28% de las líneas evaluadas mostraron promedios por debajo de los testigos; es posible que este bajo número de líneas conserven los genes de los progenitores donantes que además de aportar la característica afila, contribuyen a la expresión negativa para la variable peso de las vainas. Los parentales donantes (Dove, ILS3568 e ILS3575) utilizados para la obtención de las líneas, son de crecimiento tipo arbustivo y de vainas pequeñas y medianas, que contrastan con los padres recurrentes Andina, Sindamanoy y San Isidro, de tipo voluble y de vainas grandes.

3.2.5 Relación grano vaina (G/V)

De acuerdo con el Análisis de Varianza (Tabla 6) las densidades no afectaron la relación gran/vaina de los genotipos evaluados. De igual manera, no se observó una interacción significativa que sugiera un comportamiento diferencial de los genotipos a través de las densidades.

Los genotipos SX3575RC112, SX3568RC117, SX3568RC128, SX3575RC113, SX3568RC17, SIXDRC183, SX3568RC11, SIXDRC166 que corresponden al 38% de las líneas evaluadas, fueron las de mejor relación grano-vaina mostrando valores mayores a 0,55 y superando significativamente a los testigos Sindamanoy y San Isidro que no superaron el valor promedio de 0,46. Por otra parte, se destaca la línea SX3575RC112 con una relación de 0,60, que fue estadísticamente superior a Andina (0,51) (Tabla 11).

Lo anterior, manifiesta el potencial de las líneas afila seleccionadas como producto final para el consumidor, puesto que se busca obtener mayor peso de los granos y menor peso de las valvas, aumentando la proporción del efecto vertedero hacia los granos y convirtiéndose en un producto atractivo para el mercado. Una relación

grano/vaina alta favorece la industrialización de la arveja. En Chile Hargous (2001) anota, que el promedio industrial de esta relación usado alcanza el valor de 0,7.

Tabla 11. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (*Pisum sativum* L.), para las densidades de planta evaluadas para la variable relación grano x vaina (GV).

Relación grano x vaina			
Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio
SX3575RC112	0,60 A	SXDRC156	0,52 BCDEF
SX3568RC117	0,57 AB	SX3575RC18	0,52 BCDEF
SX3568RC128	0,56 ABC	AXDRC215	0,52 BCDEEF
SX3575RC113	0,56 ABC	ANDINA	0,51 BCDEF
SX3568RC17	0,56 ABC	AXDRC24	0,50 BCDEF
SIXDRC183	0,56 ABC	SIXDRC154	0,49 CDEF
SX3568RC11	0,56 ABC	SX3568RC166	0,48 CDEFG
SIXDRC166	0,55 ABCDE	SX3575RC1X1	0,48 CDEFG
{SXDRC118	0,55 BCDEF	SX3575RC19	0,47 DEFG
SX3575RC120	0,54 BCDEF	SIXDRC1100	0,46 EFG
SX3568RC19	0,53 BCDEF	SINDAMANOY	0,46 FG
SIXDRC151	0,52 BCDEF	SANISIDRO	0,43 G

+ Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$)

3.2.6 Peso de cien granos verdes (PCGV)

No se observó efecto de las densidades sobre el peso de los granos verdes, ni interacción densidad por genotipo (Tabla 6). El 48% de las líneas evaluadas fueron estadísticamente iguales al testigo Andina, el 71% igualaron al testigo San Isidro y el 95% a Sindamanoy. Igual que en las variables anteriores, las similitudes entre las líneas afila y los parentales se atribuye a que estas líneas fueron obtenidas por retrocruzamiento y han recuperado entre 75 y 87,5% de los padres recurrentes. Sin embargo, SX3568RC11, SX3568RC17, SXDRC118, SX3568RC166, SIXDRC151 con valores entre 71,21 y 66,37 g, superaron al testigo San Isidro. De estas líneas, tres proceden del parental Sindamanoy y una del mismo parental San Isidro (Tabla 12).

Lo anterior, puede resultar de la acumulación de genes favorables para este carácter presentes en los progenitores, permitiendo un efecto genético transgresivo que condujo a obtener promedios superiores a los parentales. Al

respecto, Amin *et al.* (2010), reportó que el peso de la semilla en arveja se encuentra en los caracteres poligénicos de alta heredabilidad y presenta una acción génica de tipo aditivo.

Tabla 12. Comparación de los genotipos de arveja (*Pisum sativum* L.), para la variable peso de cien granos verdes (PCGV).

Peso de cien granos verdes (g)			
Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio
SX3568RC11	71,21 A	SINDAMANOY	60,95 ABCDEFGH
SX3568RC17	69,99 AB	SX3568RC19	59,68 BCDEFGH
SXDRC118	69,16 ABC	SXDRC156	59,31 BCDEFGH
SX3568RC166	68,14 ABCD	SIXDRC183	59,22 BCDEFGH
SIXDRC151	66,91 ABCDE	SX3575RC19	57,86 CDEFGH
SX3575RC120	66,70 ABCDE	SIXDRC1100	57,09 DEFGH
SIXDRC166	66,37 ABCDE	SX3568RC117	56,2 EFGHI
SX3575RC18	64,53 ABCDEF	SANISIDRO	53,19 FGHIJ
SX3575RC112	64,07 ABCDEFG	SIXDRC154	53,02 GHIJ
SX3575RC1X1	63,30 ABCDEFG	SX3575RC113	50,68 HIJ
ANDINA	63,08 ABCDEFG	AXDRC215	46,04 JI
SX3568RC128	62,21 ABCDEFG	AXDRC24	45,38 J

+ Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$)

Por otra parte, los resultados para peso de los granos verdes de las líneas afila, difieren con algunos autores como Mera (1996) y Burstin *et al.* (2007), quienes argumentan que al estar comprometido los folíolos en el proceso de obtención de vainas, la disminución en el número de hojas en la planta puede reducir el peso de los granos y otras características del fruto; sin embargo, para las líneas evaluadas no se presentó menor peso de grano a pesar de las pocas hojas que desarrollan este tipo de guisantes. Esto puede ser porque los zarcillos también son órganos fotosintetizadores que a su vez cumplen con la función de agarre. Cote *et al.*, 1992 o porque se trata de un carácter altamente heredable controlado por genes independientes de aquellos que controlan la transformación de hojas por zarcillos (af).

3.2.7 Rendimiento

El Análisis de Varianza mostró significancia para la interacción densidad x genotipo, indicando un comportamiento diferencial de los genotipos a través de las densidades evaluadas. En la densidad 1 que corresponde a 83.333 plantas.ha⁻¹,

se observó que 11 de las 21 líneas afila con rendimientos entre 4142 y 2236 kg.ha⁻¹ lograron igualar estadísticamente a los testigos Sindamanoy (4231 kg.ha⁻¹) y Andina (3714 kg.ha⁻¹), entre ellas sobresalen SIXDRC1100, SX3575RC18, con 4142 y 4045 kg.ha⁻¹ que también fueron estadísticamente similares a la variedad San Isidro (3694 kg.ha⁻¹) y superaron al 47,62% de las líneas con gen afila evaluadas (Tabla 13.).

Lo anterior, es explicable si se tiene en cuenta que las líneas afila evaluadas tienen como uno de los progenitores a las variedades testigo (Andina, San Isidro, Sindamanoy) y el objetivo de hacer retrocruzamientos para su obtención estuvo encaminado a ganar el gen afila conservando las características de las variedades por su buen rendimiento y su aceptación en el sur de Nariño. Al respecto, Gallego, *et al* (2011) manifiestan que el objetivo del retrocruzamiento es incorporar en una línea elite (variedades mejoradas) un gen que se encuentra en un material rustico cercano, al final del proceso se llega a una línea idealmente idéntica al parental recurrente con la excepción de un fragmento de ADN de la línea donante que contiene el gen introgresado (gen afila).

Por otro lado, los resultados del comportamiento de los genotipos en la densidad 2 muestran que SXDRC118 con 5163 kg.ha⁻¹, superó estadísticamente a los tres testigos y al 66% de las líneas evaluadas; mientras que las líneas, SX3568RC17, SX3575RC19, SX3575RC1X1, SX3575RC18, con promedios entre 4775 y 3941 kg.ha⁻¹ superaron al testigo Sindamanoy.

La comparación de promedios para la densidad 2 muestra el potencial de algunas líneas afila, las cuales superan significativamente en rendimiento a las variedades mejoradas, esto indica que para este tipo de genotipos se pueden reducir las distancias de siembra, sin alterar negativamente las condiciones para su crecimiento y desarrollo, permitiendo que las plantas se mantengan erectas y se apoyen entre sí, configurando una estructura abierta, con buena aireación y dando poca sombra a las vainas (Giacconi y Escafe, 1988), logrando un buen potencial productivo y una alternativa innovadora en el cultivo de arveja por su arquitectura menos agresiva y su consecuente reducción en los costos del sistema de tutorado.

Según Burstín *et al.* (2007) el efecto vertedero depende de las condiciones ambientales y en limitaciones de luz que ocurren con el aumento de la densidad de siembra, se pueden generar mayores concentraciones de asimilados en otros órganos diferentes a las hojas. En el mismo sentido puede ocurrir que en algunas líneas afila de alto rendimiento, los asimilados que en plantas convencionales se dirigen hacia las hojas, al ser estas sustituidas por zarcillos, se pueden direccionar parcialmente a otras partes de la planta como vainas y granos, aportando al rendimiento.

Tabla 13. Comparación de los diferentes genotipos de arveja (*Pisum sativum* L.), para las densidades de planta evaluadas para la variable rendimiento.

Rendimiento (kg.ha⁻¹)		
Genotipo	Densidad 1	Densidad 2
SINDAMANOY	4231 A	1655 E
SIXDRC1100	4142 A	2193 CDE
SX3575RC18	4045 A	3941 ABCD
ANDINA	3714 A	2936 BCDE
SANISIDRO	3694 AB	2559 CDE
SX3575RC1X1	3524 AB	4091 ABCD
SX3575RC19	3341 ABC	4258 ABC
SX3568RC17	3268 ABCD	4775 AB
SX3568RC19	3257 ABCD	2852 CDE
SX3568RC11	3176 ABCD	3512 ABCDE
SIXDRC166	2590 ABCD	2461 CDE
AXDRC24	2511 ABCD	2272 CDE
SIXDRC151	2505 ABCD	2764 CDE
SX3568RC117	2236 ABCD	3522 ABCDE
SIXDRC183	1891 BCD	2514 CDE
SX3575RC120	1889 BCD	3134 BCDE
SX3568RC128	1870 BCD	2283 CDE
SX3575RC112	1861 BCD	2342 CDE
SX3568RC166	1860 BCD	1936 E
SX3575RC113	1826 BCD	2159 DE
SXDRC118	1767 BCD	5163 A
AXDRC215	1766 BCD	3141 BCDE
SIXDRC154	1514 CD	2248 CDE
SXDRC156	1433 D	2389 CDE

+ Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($\alpha=0,05$)

Densidad 1 = Corresponde a la densidad de 83.333 plantas.ha⁻¹

Densidad 2= Corresponde a la densidad de 166.666 plantas.ha⁻¹

Por otro lado, es posible que en algunas líneas afila el aumento de la población no produzca una importante reducción en la luz debido a la transformación de hojas en zarcillos y a la mejor distribución de las demás estructuras de la planta, resultando favorable su respuesta al incremento en la densidad como se observó en la línea SXDRC118 que pasó de 1767 a 5163 kg.ha⁻¹ al duplicar su densidad de siembra. Por el contrario en las variedades de hojas normales Andina, Sindamanoy y San Isidro, la competencia por luz pudo haber incidido en la

reducción del rendimiento. En general, se observó que mientras en la densidad 1 (83.333 plantas.ha⁻¹) los testigos Sindamanoy y Andina superaron al 47% de las líneas afila y San Isidro a dos de las 21 líneas, en la densidad 2 (166.666 plantas.ha⁻¹) ninguno de los testigos superó a las líneas afila estudiadas, confirmando la mejor respuesta de los genotipos afila al incrementarse la densidad de siembra.

Los anteriores argumentos se relacionan con lo referido por Cousin *et al.* (1997), quien describe que los cambios morfológicos que reemplazan hojas por zarcillos no están directamente correlacionados con la eficiencia fotosintética de la planta, pues no limita el peso de las semillas ni el rendimiento, la disminución de folíolos que representan el órgano fotosintetizador principal en la mayoría de las plantas no es limitante en la asimilación de luz, porque su ausencia permite que el resto de órganos realice la fotosíntesis de manera más eficiente. Al reducir el área foliar en un 40% se presenta mayor asimilación fotosintética de las vainas, logrando mejorar la penetración de luz a través del dosel y reducir la competencia entre plantas que ocurre cuando hay demasiada producción de biomasa.

3.3 CORRELACIONES GENÉTICAS

Se observaron correlaciones significativas entre el rendimiento con número de vainas por planta (NVP) y peso de cien granos verdes (PCGV) con coeficientes de 0,71 y 0,77 respectivamente, indicando que estas dos variables pueden utilizarse para realizar selección indirecta para rendimiento. De igual manera, el rendimiento presentó correlación genética con las variables largo de vaina (LV), peso de vaina verde (PVV) y relación grano/vaina (G/V), aunque el grado de asociación de estas variables es relativamente bajo con valores que oscilaron entre (0,27 y 0,34) (Tabla 12). Estos resultados confirman lo reportado por Ligarreto y Ospina (2009), quienes encontraron en genotipos de arveja altas correlaciones entre rendimiento y las variables vainas por planta y peso de 100 semillas de 0,83 y 0,92, respectivamente.

No obstante, Mera *et al* (1989) utilizando las variedades de arveja Florette y Paloma, obtuvieron correlación inversa y significativa entre el rendimiento y el número de plantas con coeficientes de -0,67 y -0,31, que fue explicada por los problemas de vaneamiento que afectaron el rendimiento final de los ensayos.

Por otra parte, se encontraron correlaciones altas y significativas de peso de cien granos verdes (PCGV) con largo de vaina (LV), número de vainas por planta (NVP) y peso de vaina verde (PVV) (Tabla 14). Lo anterior, sugiere que la selección de genotipos con vainas grandes conduce a obtener materiales genéticos con mayor peso en sus granos en fresco; lo mismo ocurre con PVV

(0,85) indicando que los genes que controlan el peso del grano pueden ser también responsables en alto grado del peso de la vaina.

La correlación genética significativa entre Rend y las variables de PVV y PCGV y la correlación entre las variables PCGV y PVV obtenidas en este estudio confirman los resultados de Pantoja *et al.* (2014) en la evaluación realizada con 20 líneas de arveja afila y dos testigos de hoja convencional, quienes encontraron, correlaciones genéticas significativas y altas entre el rendimiento y las variables peso de vaina verde y peso de cien granos verdes, con valores de 0,88 y 0,86, respectivamente y de igual forma, entre las variables PCGV y PVV (0,91).

Dordevic *et al.* (2004) en una evaluación de arvejas afila y tipo convencional, obtuvo correlaciones entre rendimiento y las variables peso de vaina, peso de grano y relación grano/vaina con valores superiores a 0,82. Además, observaron que todos los genotipos evaluados (afila y de hojas normales) no produjeron cambios en el valor de correlación para rendimiento y sus componentes, confirmando que la reducción de la superficie de la hoja en los genotipos afila no tiene efecto sobre el rendimiento como lo reportó Cousin (1986).

Por otra parte, la correlación genética significativa y positiva entre el PCGV y GV (0,36), sugiere algún grado de influencia del peso de la semilla en la relación GV. En consecuencia, un bajo peso de grano contribuye a la reducción de la relación GV en cuyo caso el mayor peso de la vaina estaría dado más por los tejidos de las estructuras de las “valvas” que por el grano en sí mismo.

Se presentó una correlación alta y significativa entre LV y PVV (0,95), lo cual es posible si se tiene en cuenta que en vainas más largas las plantas pueden presentar un número de granos mayor, un tamaño más grande de sus granos o un mayor peso de sus valvas, lo cual, conduce a incrementar el peso de las vainas. Es probable que estas correlaciones genéticas tan altas dependan de los mismos factores genéticos o que los genes que las controlan presentan alto grado de ligamento.

Tabla 14. Correlaciones genéticas para cinco caracteres en arveja (*Pisum sativum* L.)

	NVP	PVV	GV	PCGV	REND
LV	-0,1533	0,9555 *	-0,4394 *	0,6479*	0,3408*
NVP		0,0202	0,0766	0,5214*	0,7128*
PVV			-0,236	0,8518*	0,2702*
GV				0,3683*	0,2997*
PCGV					0,7723*

Se observó una correlación genética negativa entre LV y relación GV que se explica por los espacios entre los granos y por el peso de las valvas que son frecuentes en las vainas grandes, en contraste con las vainas pequeñas que presentan valvas delgadas y granos más constreñidos.

3.4 ANALISIS DE SENDERO

La variable dependiente rendimiento, logró una correlación genética de 0,34 con largo de vainas; para que dicha correlación ocurra, el efecto directo de la variable LV fue de 14,48, sin embargo el mismo fue contrarrestado por los efectos indirectos negativos de PVV (-13,84), NVP (-0,32), GV (-1,074) y un leve efecto indirecto positivo de PCGV (1.11) (Tabla 15). Lo anterior, indica que la variable PVV influyó notablemente en la reducción de la correlación entre LV y REND, lo cual sugiere que el largo de vainas por sí mismo no es el que define el rendimiento sino que otras variables hacen una contribución importante al mismo.

La variable NVP alcanzó una alta correlación genética con rendimiento de 0,71. El efecto directo de NVP fue de 2,14 y los efectos indirectos PCGV y GV aportaron positivamente a la mencionada correlación con 0,89 y 0,18; estos valores fueron contrarrestados por los efectos indirectos negativos de LV (-2,21) y PVV (-0,29). Estos resultados demuestran que la variable que más influyó para la reducción de esta correlación fue LV y que la mayor contribución indirecta la aportó PCGV. Esta correlación depende en gran medida de sus efectos directos pues sus efectos indirectos se compensan unos con otros. El valor alto de la correlación permite confirmar que la variable NVP puede ser de utilidad para la selección de genotipos por rendimiento.

La correlación genética del peso de vaina verde (PVV) y rendimiento (REND) (0,27) fue resultante del efecto directo negativo de PVV con -14,49, valor que fue compensado por el efecto indirecto de la variable LV con 13,83 y en menor medida por los efectos indirectos de NVP y PCGV que aportaron 0,43 y 1,46, respectivamente; mientras que la variable GV contribuyó de forma indirecta y negativa con -0,18. Lo mencionado explica que la correlación de PVV y REND depende en su mayoría del aporte del efecto indirecto de LV; mostrando que PVV no es una variable que pueda ser utilizada para la selección de genotipos por rendimiento. En contraste, Pantoja *et al.*, (2014) observaron que la correlación genética entre PVV y REND (0,88) estaba más relacionada con los efectos directos de PVV que permitía utilizar esta variable en la selección de genotipos por rendimiento, argumento que difiere con lo encontrado en este estudio, lo cual se atribuye a la mayor variabilidad de los componentes de rendimiento de los genotipos utilizados en la presente investigación.

Tabla 15. Efectos directos e indirectos de la correlación genética entre rendimiento y sus componentes en la evaluación de 21 líneas de arveja afila.

	LV	NVP	PVV	GV	PCGV
Correlación genética con rendimiento (REND)	0,34	0,71	0,27	0,29	0,77
Efecto directo sobre el rendimiento (REND)	14,48	2,14	-14,49	2,44	1,71
Efecto indirecto vía					
LV		-2,21	13,83	-6,36	9,38
NVP	-0,32		0,43	0,16	1,11
PVV	-13,84	-0,29		3,42	-0,12
GV	-1,07	0,18	-0,57		0,90
PCGV	1,11	0,89	1,46	0,63	

La correlación genética entre la variable relación grano/vaina (GV) y rendimiento fue de 0,29. El aporte directo de GV fue de 2,44 mientras que los efectos indirectos de las variables NVP, PVV y PCGV fueron 0,16, 3,42 y 0,63. Estos valores se compensaron por el efecto indirecto de LV que presentó un valor negativo de -6,36. Los datos demuestran que GV no es un carácter determinante en la selección de genotipos por rendimiento.

El peso de cien granos verdes (PCGV) correlacionó genéticamente con rendimiento con un valor de 0,77 y un efecto directo de 1,71. El efecto indirecto de largo de vaina fue el de mayor contribución con 9,38; NVP (1,11) y GV (0,90) aportaron en menor medida a la correlación. No obstante, estos valores fueron contrarrestados por el efecto indirecto de peso de vaina verde (PVV) que fue de -12. Se deduce que la correlación de PCGV y REND está en su mayoría proporcionada por el efecto directo, ya que sus efectos indirectos se compensan entre ellos con valores positivos y negativos; permitiendo confirmar que PCGV es una de las variable útiles para la selección por rendimiento. Lo anterior, difiere con lo encontrado por Pantoja *et al* (2014) quienes para misma correlación obtuvieron mayor aporte de los efectos indirectos.

En general, se observó que las correlaciones genéticas entre rendimiento y sus componentes (LV, NVP, PVV, GV y PCGV) fueron principalmente influenciadas por sus efectos indirectos, los cuales contrarrestaron la acción de los efectos directos, produciendo en algunas variables coeficientes bajos que limitan su uso en la selección indirecta por este rasgo. Lo anterior, confirma que el rendimiento no es determinado por un solo componente y que obedece a un carácter de herencia cuantitativa en la cual diferentes genes y diferentes rasgos son

responsables de su expresión. La selección de genotipos en mejoramiento genético de arveja por un carácter puede dificultarse debido a que su expresión está influenciado por los demás componentes. Al respecto, Timmerman, *et al* (2004), afirma que en arveja los componentes de rendimiento muestran interdependencia o "plasticidad", que hace que sea muy poco probable que la selección para el aumento de rendimiento basado en un único componente tenga éxito (Grafico. 4)

□

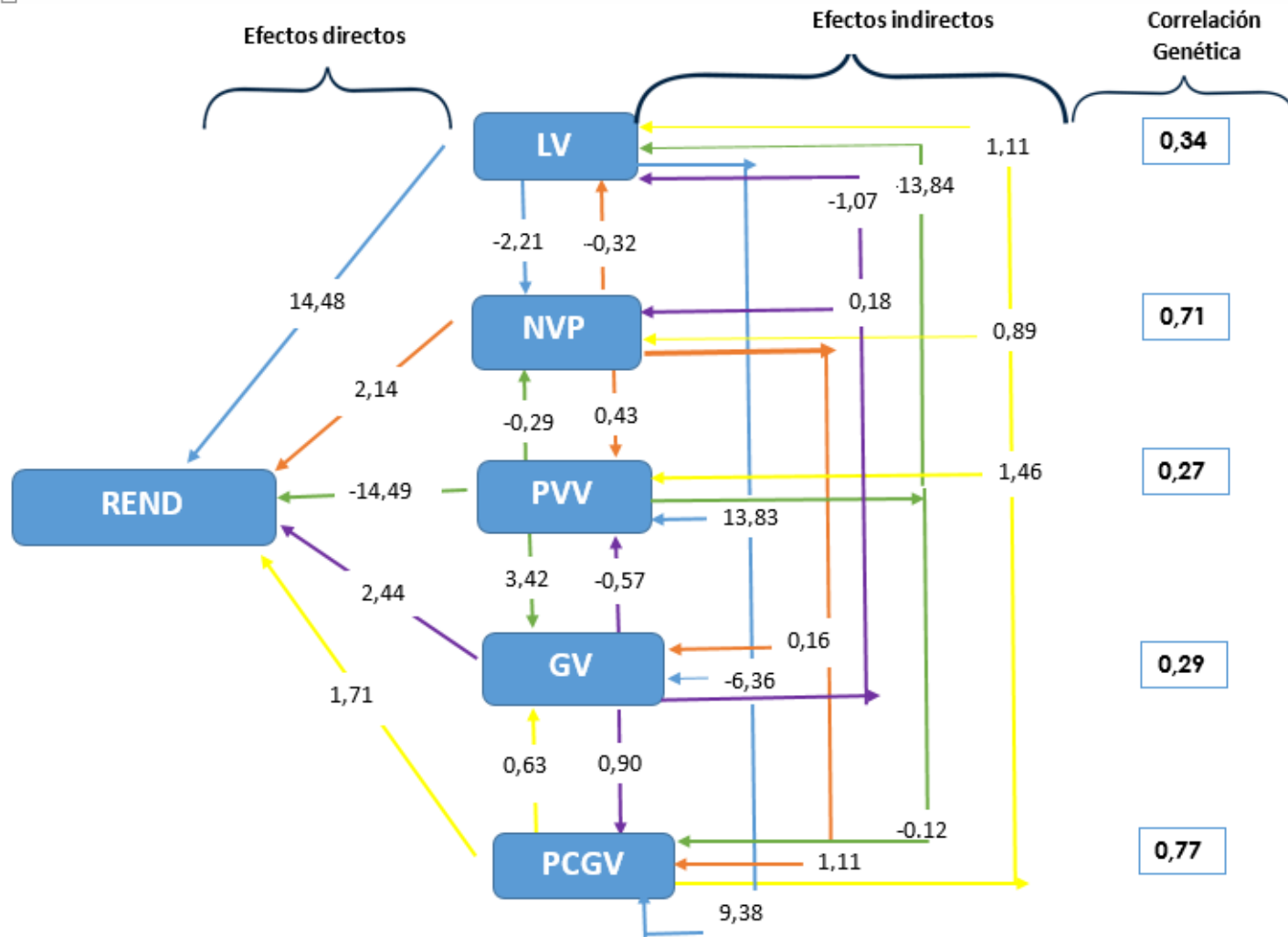


Grafico 2. Diagrama de sendero mostrando los coeficientes de sendero del rendimiento en líneas de arveja (*Pisum sativum* L.) con gen afila.

CONCLUSIONES

- Mediante índice de selección se identificaron 21 líneas promisorias escogidas por orden de mérito, las cuales fueron en su mayoría genotipos pertenecientes a la retrocruza uno (RC1) realizada con el padre recurrente Sindamanoy. La RC2 quedó representada únicamente por dos líneas que usaron como padre recurrente a la variedad Andina. Las deficiencias en las variables altura (ALT), relación grano/vaina (GV) y número de granos por vaina (NGV) de los padres recurrentes permitieron una selección más alta en los genotipos de derivados la RC1 respecto a los de la RC2.
- En las variables Largo de vaina, peso de vaina verde, peso de cien granos verdes, numero de vainas por planta y rendimiento, se observó que existen líneas con gen afila que igualaron o superaron a los testigos de hoja convencional Andina, San Isidro y Sindamanoy.
- En la densidad de 166666 plantas. ha⁻¹, las líneas de arveja con gen afila que reemplaza las hojas por zarcillos, constituyeron una buena opción productiva, al igualar o superar el rendimiento en vaina verde de los testigos de hojas normales Andina, San Isidro y Sindamanoy. Se destacaron SXDRC118 y SX3575RC17 por presentar promedios superiores a los testigos.
- El 73% de las correlaciones genéticas entre los componentes de rendimiento fueron significativas. Las correlaciones genéticas más altas se obtuvieron entre peso de vaina verde y las variables largo de vaina y peso de cien granos verde; igualmente entre rendimiento y las variables número de vainas por planta y peso de cien granos verde.
- En el análisis de sendero las correlaciones genéticas entre rendimiento y sus componentes fueron altamente afectadas por los efectos indirectos, sin embargo las variables peso de cien granos verdes y número de vainas por planta, fueron las que lograron los mayores efectos directos confirmando su utilidad en la selección por rendimiento en vaina verde.

RECOMENDACIONES

Evaluar por pruebas de Estabilidad y Adaptabilidad las líneas de arveja afila.

Evaluar líneas de arveja con gen afila en diferentes sistemas de tutorado utilizando altas densidades de siembra y evaluar los costos de producción.

Evaluar las 21 líneas con gen afila en condiciones de estrés hídrico para ofrecer una alternativa ante el cambio climático.

Realizar estudios relacionados con la composición nutricional del grano y procesos agroindustriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALPALA, F. 2014. Reacción de 18 líneas de arveja voluble (*Pisum sativum L.*) a *Fusarium oxysporum* f.sp. *pisi*, en el departamento de Nariño. Tesis de grado de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Producción de Cultivos. Universidad de Nariño. 80 p.

AMIN, A; MUSHTAQ F; SINGH P; WANI, P; SPALDON, S y NAZIR, N. 2010. Genetics and breeding of pea. International Journal of Current Research.10: 28-34 p.

AMURRIO, J; RON, A y SANTALLA, M. 1996. Horticultural and potential breeding value of sugar pea landraces from Northwestern Spain. HortScience 31(5): 843-845 p.

ARYAMANESH, N; BYRNE, D; HARDIE, T; KHAN, K; SIDDIQYE, M AND YAN, G. 2012. Large-scale density-based screening for pea weevil resistance in advanced backcross lines derived from cultivated field pea (*Pisum sativum*) and *Pisum fulvum*. Crop and pasture science. Disponible En: <http://www.publish.csiro.au/?paper=CP12225>. Consultado: marzo 2016.

ARSHAD, M; NAAZAR, A y GHAFOR, A. 2006. Character correlation and path coefficient in soybean glycine max. Merrill. Oilseeds Program, Crop Sciences Institute, Plant Genetic Resources Institute (PGRI), National Agricultural Research Center. Pak. J. Bot. 38(1): 121-130 p.

ASSEFA, T; BEEBE, S; RAO, I; CUASQUER, J; DUQUE, M; RIVERA, M; BATTISTI, A; LUCCHIN, M. 2013. Pod harvest index as a selection criterion to improve drought resistance in white pea bean. Field Crops Research. 148: 24-33 p.

AZPILICUETA, M; IRIGOYEN, I; LASA, B; MURO, J y APARICIO, T. 2012. Yield and quality of sugar snap pea in the Ebro Valley: Sowing date and seed density. Scientia Agricola. 69 (5):320-326 p.

BERBEL, A. 2005. Análisis funcional de genes reguladores del desarrollo floral de guisante (*Pisum sativum L.*) en sistemas heterólogos. Universidad de Valencia. 58p.

BHARATHAN, G y ROY, N. 2001. The Regulation of Compound Leaf Development. *Plant Physiology*. 127:1533–1538 p.

BOURION, V; DUPARQUE, M; HENAUT, I; MUNIER, N. 2002 Criteria for selecting productive and stable pea cultivars. Euphytica. 126(3): 391-399 p.

BUITRAGO, J., DUARTE, C. Y SARMIENTO, A. 2006. El cultivo de la arveja en Colombia. Primera Edición. FENALCE, Fondo Nacional de Leguminosas. Bogotá-Colombia. 83 p.

BURSTIN J, MARGET P, HUART M, MOESSNER A, MANGIN B, DUCHENE C, DESPREZ B, MUNIER-JOLAIN N, y DUC G. 2007. Developmental Genes Have Pleiotropic Effects on Plant Morphology and Source Capacity, Eventually Impacting on Seed Protein Content and Productivity in Pea. *American Society of Plant Biologists*.144: 768–781 p.

CALONJE, M; CUBAS, P; MARTINE, M y CARMONA, M. 2004. Floral meristem identity genes are expressed during tendril development in grapevine. *Plant Physiology*.135: 1491–1501 p.

CASANOVA, L; SOLARTE, J; CHECA, 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 p.

CERON, J y SAHAGÚN, J. 2005. Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia*.39: 667-677 p.

CHASE, M. 2003. An update of the angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society*.141: 399–436 p.

CHECA, O. 1994. La arveja y sus sistemas de cultivo. Corpoica. Boletín divulgativo No. 104. San Juan de Pasto. 11 p.

CHECA, O. 1995. Ica-Corpoica-Sindamanoy variedad mejorada de arveja para clima frio. Corpoica- Ica-Fenalce Corpocebada. Plegable divulgativo. Pasto 2 p.

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%ADneas%20Arveja.pdf. Consulta: octubre, 2014.

CHECA, O y BLAIR, M. 2005. Correlaciones fenotípicas y genéticas entre componentes de capacidad trepadora y rendimiento en frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). *Fitotecnia Colombiana*. 5(2):37-46 p.

CHECA, O; CAMPUZANO, F; BENAVIDES, P y YEPES, B. 2006. Registro Nacional de Cultivares Comerciales – ICA de la variedad de arveja Obonuco San Isidro. Corpoica y Universidad de Nariño. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. ICA-RESOLUCIÓN 002620- 25 de septiembre de 2006a. 5 p.

- CHECA, O; CAMPUZANO, F; BENAVIDES, P; YEPES, B. 2006. Registro Nacional de Cultivares Comerciales – ICA de la variedad de arveja Obonuco Andina. Corpoica y Universidad de Nariño. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. ICA-RESOLUCIÓN 002736- 10 de octubre de 2006b. 5 p.
- CHECA, O; CHAVEZ, D; QUISTIAL, J. 2009. Evaluación agronómica de 20 líneas de arveja voluble (*Pisum sativum L*) en cinco municipios del sur del departamento de Nariño. Trabajo de grado para el título de ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 27 p.
- CHECA, O; FIERRO, R. 2010. Estabilidad de 20 líneas de arveja voluble (*Pisum sativum L.*) en cinco municipios del sur del departamento de Nariño. Trabajo de Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad De Nariño. 67 p.
- CHECA, O LIGARRETO, G; LAGOS, T; BETANCOURTH, C; ARTEAGA, G. 2012. Registro Nacional de Cultivares Comerciales – ICA de la variedad de arveja ALCALÀ. Universidad de Nariño y Universidad Nacional. ICA-RESOLUCIÓN 002343. 27 de julio de 2012a. 4 p.
- CHECA, O LIGARRETO, G; LAGOS, T; BETANCOURTH, C; ARTEAGA, G. 2012. Registro Nacional de Cultivares Comerciales – ICA de la variedad de arveja SUREÑA. Universidad de Nariño y Universidad Nacional. ICA-RESOLUCIÓN 001249. 10 de mayo de 2012b. 4 p.
- CHECA, O; YAMA, V; TOBAR, S; 2011. Evaluación por componentes de rendimiento de nueve genotipos y un testigo de frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris L.*). Revista de Ciencias Agrícolas. 28 (1):73-90 p.
- COUSIN, R. 1997. Pea (*Pisum sativum L.*). INRA, Station de Gentique et d' Amélioration des Plants, Versailles, France. Field Crops Research. 53: 111-130 p.
- COUSIN, R; MESSEGER A y VINGERE, A.1986. Breeding for yield in combining peas. Book "The pea crop", Butterworths. (5): 56-78 p.
- COTE, R, GERRATH, J, PETERSON, C and GRODZINSKI, G. 1992. Sink to Source Transition in Tendrils of a Semileafless Mutant, *Pisum sativum* cv Curly. Plant Physiol. 100:1640-1648
- CRUZ, C. 2006. Programa GENES, Versao Windows. Aplicativo computacional en genética y estadística. Editorial UFV. Universidad Federal de Vicosa. En: www.utv.br/dbg/genes/genes.htm. Consulta: septiembre de 2014.
- CUBERO, J. 2000. Introducción a la mejora genética vegetal. Grupo Mundi-prensa. España. 2: 209-220 p.

DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2013.

DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2014

ĐORĐEVIĆ, R; ZDRAVKOVIĆ, J; ZEČEVIĆ, B; CVIKIĆ, D y IVANOVIĆ, M. 2004. Correlation of yield and yield components for afile and normal leave pea (*Pisum sativum* L.). *Original scientific paper*. GENETIKA. 36(1): 39-45 p.

DUARTE, R y ADAMS, M. 1972. A Path Coefficient Analysis of Some Yield Component Interrelations in Field Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Science*. 12(5): 579-582 p.

ECKARDT, N. 2007. Evolution of Compound Leaf Development in Legumes: Evidence for Overlapping Roles of KNOX1 and FLO/LFY Genes. *The Plant Cell*. American Society of Plant Biologists. 19: 3315–3316 p.

ESPINOSA, N Y LIGARRETO, G. 2005. Evaluación de la habilidad combinatoria y heterosis de siete progenitores de arveja *Pisum sativum* L. *Agronomía Colombiana*. 23(2): 197-206 p.

ESPITIA, M; ARAMÉNDIZ H; CADENA J. 2008. Correlaciones y análisis de sendero en algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el Caribe Colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*. 61(1):4325-4335 p.

ESPITIA, M; ARAMENDIZ, H; CARDONA, C. 2008. Correlaciones para algunas propiedades físicas y químicas del fruto y jugo de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Degener). *Agronomía Colombiana*. 26 (2): 292-299 p.

ESPITIA, M; VALLEJO, F; BAENA, D. 2005. Correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales en *Cucúrbita moschada*. *Duch. Ex. Poir. Revista Acta Agronómica*. 54(1): 1-9 p.

FALLOON, R; MCERLICH, A y SCOTT, R. 1989. Powdery mildew of peas; possible causes of recent epidemics and prospects for control. *Proceedings of the 42 nd New Zealand Weed and Pest Control Conference*. 247-250 p.

FENALCE. 2010. El cultivo de arveja historia e importancia. Importancia de los cultivos representados por Fenalce. El cerealista. En: http://www.fenalce.org/arch_public/arveja93.pdf. pp. 32-34. Consulta: septiembre de 2014.

GALINDO, J y CLAVIJO, J. 2007. Área de la hoja compuesta y variaciones de forma en los fitómeros de arveja (*Pisum sativum* L.) en respuesta a diferentes ambientes de Trópico Alto Andino. Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 8(1) 44-51 p.

GALINDO, J y CLAVIJO, J 2009. Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L. var. Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica. Revista Corpoica-ciencia y tecnología agropecuaria. 10(1): 5-15 p.

GALLEGO, F; SANCHEZ, A; ARÚS, P; ANGEL, M; MARTINEZ, P. 2011. Selección Genética y Genómica en Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Acuicultura. Informe de Vigilancia Tecnológica. Genoma España. Pág. 43.

GARZON, M. y GASCA, H. 1990. Comportamiento de dos variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) para uso industrial bajo dos sistemas de siembra y cuatro densidades en las condiciones de la Sabana de Bogotá. Tesis Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. 55 p.

GASKELL, M. 1997. Edible-pod pea production in California. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 7233. 4 p.

GENVCE- Grupo para la evaluación de nuevas variedades de cultivos extensivos en España. 2008. Evaluación de nuevas variedades de guisantes en España. Vida rural. Pág. 3.

GIACONI, V y ESCAFE, M. 1988. Cultivo de hortalizas. Editorial Universitaria. Décimo quinta versión. Pág. 45

GONZÁLEZ, F. y 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 p.

GONZÁLES, G. 2001. Interacción genotipo x ambiente en guisante proteaginoso (*Pisum sativum* L.) Tesis de Doctorado. Facultad de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid, España. 307 p.

HAGEDORN y GRITTON, 1973. Inheritance of resistance to the pea seed-borne mosaic virus. Phytopathology. 63: 1130-1133 p.

HARGOUS, F. 2001. Sensorial and agronomical evaluation of seven pea's cultivars (*Pisum sativum* L.) for IQF freezing. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agris. 92 p.

HAZEL, L. y LUSH, J. 1942. The efficiency of three methods of selection. *J. Heredity*. 33: 393-399 p.

HOFER, J., TURNER, L., HELLENS, R., AMBROSE, M., MATTHEWS, P., MICHAEL, A., ELLIS, N. 2009. Tendril-less Regulates Tendril Formation in Pea Leaves. *The plant cell*. 21: 420–428 p.

HOFER, J., TURNER, L., HELLENS, R., AMBROSE, M., MATTHEWS, P., MICHAEL, A., ELLIS, N. 1997. Unifoliolate regulates the morphogenesis of the leaf and flower in the pea. *Current Biology*. 7(8):581-587 p.

JONES, L. K. 1927. Studies of the nature and control of blight, leaf and pod spot, and food rot of peas caused by species of *Ascochyta*. N. Y. State Agric. Res. Bull. 547. 45 p.

KHVOSTOVA, V. 1983. Genetics and breeding of peas. USDA, Springfield, IL. 12-96 p.

LARRIN, M y ALCALDE, J. 2003. Determinación de las fases de sensibilidad e insensibilidad a fotoperiodo en la etapa de prefloración en arveja (*Pisum sativum* L.). *Ciencia e investigación agraria*. 30(1): 15-25 p.

LIGARRETO, G y OSPINA, A. 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 p.

LOPEZ, J Y LIGARRETO, G. 2006. Evaluación por rendimiento de 12 genotipos promisorios de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo Bola roja y Reventón para las zonas frías de Colombia. *Agronomía Colombiana*. 24(2): 238-246 p.

LOBO, M y OBREGÓN, E. 1989. Investigación en los cultivos de arveja y haba Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Quito (Ecuador) Boletín Técnico - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1: 29-33 p.

MARTINEZ, O y RON, A. 2002. Agronomía y mejora genética del guisante de vaina comestible. Cultivos extensivos. *Vida Rural*. 44-48 p.

MAKASHEVA, R. 1983. The Pea. United States Department of Agriculture and the National Science Foundation, Washington, D. C. Pág 24.

MERA, M, LEVIO J, ALCALDE J, MORALES M y GALDAMES G. 1996. Brisca INIA, primera variedad de arveja afila obtenida en Chile. *Agricultura técnica*. 56(4): 282 – 286 p.

MERA, M; 1989. Densidad poblacional y espaciamento en arvejas (*Pisum sativum* L.) para grano seco en follaje reducido. *Agricultura Técnica (Chile)*. 49 (2):148–152 p.

MERA, M, KEHR, E, MEJÍAS, J, IHL, I y BIFANI, V. 2007. Arvejas (*Pisum sativum*) de Vaina Comestible Sugar Snap: Antecedentes y Comportamiento en el Sur de Chile. Agricultura Técnica. 67(4):343-352 p.

MORENO. L. 2010. Caracterización de las cepas Ica L9 e Ica J96, de bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno y pruebas de estabilidad de inoculantes elaborados para cultivos de arveja y soya. Trabajo de grado para optar para el título de Máster en Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. 126 p.

MUJICA, A. 1988. Parámetros genéticos e índices de selección en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de postgrado, Montecillo, México. 113 p.

NICKERSON. 2003. Dove. Guisante proteaginoso. Guisante de invierno. 2 p.

ORBES, A. Y BECERRA, J. 1982. Control químico de enfermedades foliares de arveja (*Pisum sativum* L.) en el altiplano de Pasto, departamento de Nariño. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Colombia, Pasto. 37 p.

PACHECO, C; VERGARA, H y LIGARRETO, G. 2011. Clasificación de 42 Líneas Mejoradas de Arveja (*Pisum sativum* L.) por Caracteres Morfológicos y Comportamiento Agronómico. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 63(2): 5543-5553 p.

PACHECO, C; VERGARA, H y LIGARRETO, G. 2009. Clasificación de 85 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.) de acuerdo con su comportamiento agronómico y caracteres morfológicos. Agronomía Colombiana. 27(3): 323-332 p.

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 p.

PATIÑO, W; VALDERRAMA, J y ÑUSTEZ, C. 1997. Evaluación de nueve variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) para uso industrial, en la región de Suba. Agronomía Colombiana, 19(2):108-118 p.

PERALES, A; LOLI, O; ALEGRE, T y CAMARENA, F. 2009. Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.). Ecología Aplicada. 8 (2): 47-52 p.

RUSSELL, P; HARVEY, L y BURRITT, D. 2003. Qualitative resistance to powdery mildew in hybrid sweet peas. Euphytica. 133: 349-358 p.

SAÑUDO, S, B. *et al.* 2007 La arveja como opción competitiva en la región Andina. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrarias. Pasto. 43-46 p.

SARIKAMIS, G; YANMAZ, R; ERMIS, S; BAKIR, M y YUKSEL, C. 2009. Genetic characterization of pea (*Pisum sativum* L) germoplasm from Turkey using morphological and SSR markers. Genetic and Molecular Research. 9(1): 591-600p.

SEMICOL. 2009. Ficha técnica de Arveja (*Pisum sativum* L.) Santa Isabel. En: www.semicol.co/semillas/agricolas/arveja-nacionalantaisabel/flypagenew.tpl.html. Consulta: enero 2015.

SMÝKAL, P; AUBERT, G; BURSTIN, J; COYNE, C; ELLIS, N; FLAVELL, A; FORD, R; HÝBL, M; MACAS, J; NEUMANN, P; MCPHEE, K; REDDEN, R; RUBIALES, D; WELLER, J y WARKENTI, T. 2012 Pea (*Pisum sativum* L.) in the Genomic Era. *Agronomy*. (2):74-115 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. 50p.

TIMMERMAN, G; MILLIS, A, FREW, J, BUTLER, R, MCCALLUM, J, MURRAY, S, WHITFIELD, C; RUSSELL, A y WILSON, D. 2004. Linkage mapping of QTLs for seed yield, yield components and developmental traits in pea (*Pisum sativum* L.). *Crop Science*. Consulta: febrero 2016. En: http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/3/4/1/519_timmermang.htm.

VALENCIA, A y TIMANÁ, 2011. Evaluación del complejo *Ascochyta Ascochyta pisi* y *Mycosphaerella pinodes* (*A. pinodes*) en 20 líneas de arveja (*Pisum sativum* L.). Tesis de grado para optar por el título de Ingeniera Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño. 26 p.

VALENCIA, S y VARGAS, J. 2001. Correlaciones genéticas y selección simultánea del crecimiento y densidad de la madera en (*Pinus patula*). *Agrociencia* 35: 109-120 p.

VENCOVSKY, R. Y P. BARRIGA. 1992. Genética biométrica no fitomelhoramento. *Sociedade Brasileira de Genética*. 496 p.

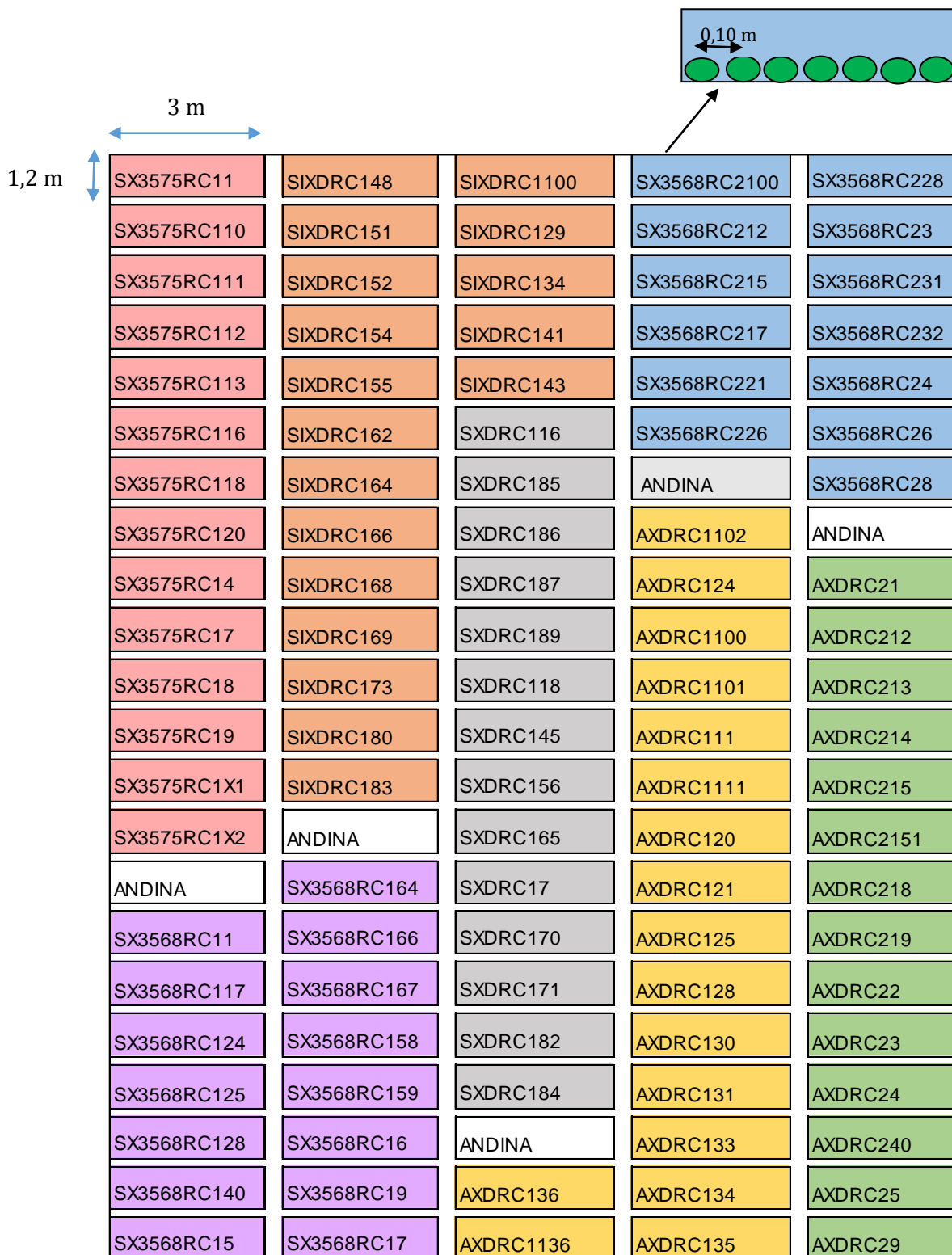
WANG, F., FU, J., DONG L. y ZHU, Y. 2004. Tendril inheritance in semi-leafless pea and its utilization in breeding. *YiChuan*. 25(2):18 p.

XU, S. 2003. Advanced Statistical Methods for Estimating Genetic Variances in Plants. Department of Botany and Plant Sciences. University of California. 45 p.

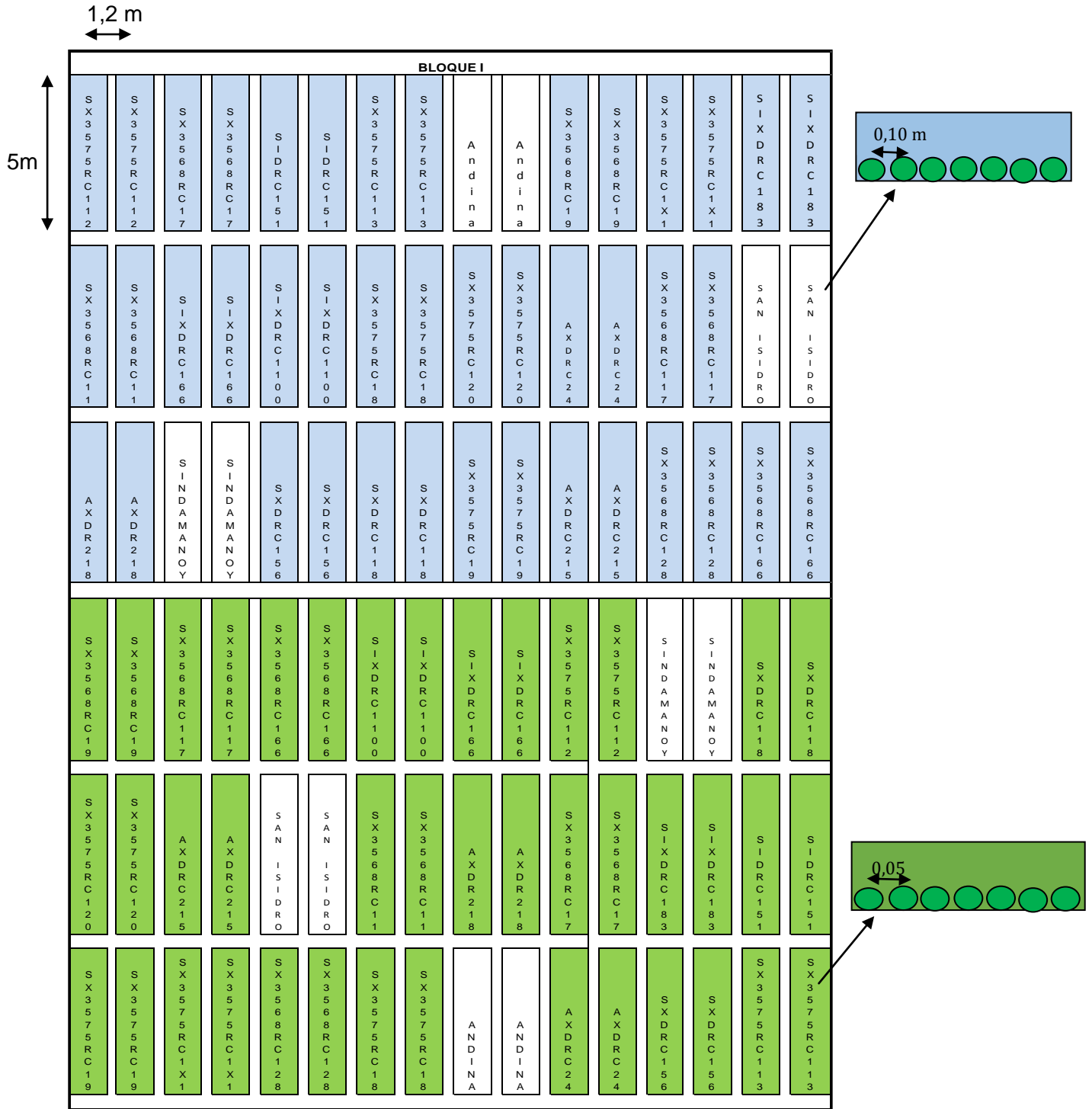
XUE, A; WARKETIN, M; GREENIAUS and ZIMMER, R. 1996. Genotypic variability in seed borne infection of field pea by *Micospherella pinodes* and its relation to foliar disease severity. Canadian journal of plant pathology. 370-374.

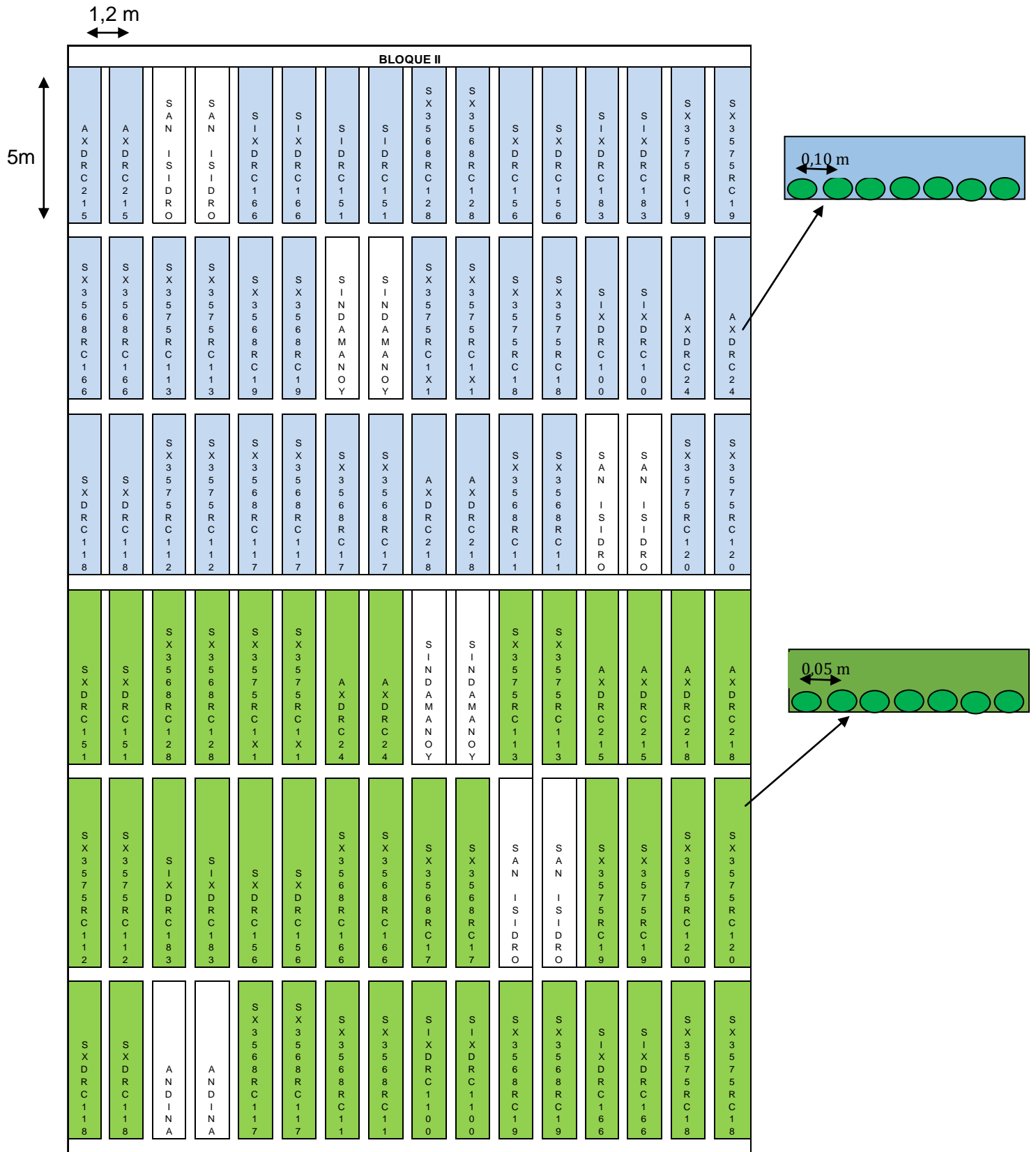
ZAMORANO, C, SALCEDO, M, MARTÍNEZ, R y ÑUZTEZ, C. 2008. Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Fusagasuga, Cundinamarca. Agronomía Colombiana. 26(3): 443-450 p.

**Anexo A. Plano se campo de evaluación de 105 líneas de arveja con gen afila.
Centro Lope-SENA (N)**



Anexo B. Plano de campo de evaluación de 21 líneas con gen afila y dos densidades de siembra en el Centro Lope SENA (N)





Anexo C. Fotografías de la evaluación y selección de 105 líneas de arveja con gen afila en el Centro Lope–SENA (N).



- a. Inicio de floración de las 105 líneas con gen afila evaluadas en el Centro Lope.
- b. Marcación de líneas evaluadas y seleccionadas con gen afila en el Centro Lope.
- c. Manifestación del gen afila en líneas evaluadas y seleccionadas por índice de selección en el Centro Lope-SENA (N).
- d. Deshierba de 105 líneas con gen afila en el Centro Lope-SENA (N).

Anexo D. Fotografías de la evaluación por componentes de rendimiento de 21 líneas de arveja con gen afila y tres testigos comerciales en el Centro Lope–SENA (N).



- a. Lectura del número de estipulas por planta en líneas evaluadas por componentes de rendimiento en el Centro Lope-SENA (N).
- b. Líneas afila después de la primera deshierba en la evaluación por componentes de rendimiento en el Centro Lope-SENA (N).
- c. Entrelazamiento de zarcillos, fotografía tomada en la evaluación por componentes de rendimiento de las 21 líneas con gen afila.
- d. Lectura de la altura de planta en la evaluación por componentes de rendimiento de las 21 líneas con gen afila.