

Adaptabilidad de 20 líneas de arveja arbustiva afila (*Pisum sativum* L.), en cinco municipios cerealistas del departamento de Nariño.

Maribel Xiomara Toro Criollo

Universidad de Nariño

Centro de Investigaciones en Ciencias Agrarias

Maestría en Ciencias Agrarias con Énfasis en Producción de Cultivos

San Juan de Pasto

2022

**Adaptabilidad de 20 líneas de arveja arbustiva afila (*P. sativum* L.), en cinco municipios
cerealistas del departamento de Nariño.**

Maribel Xiomara Toro Criollo

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

Presidente de Tesis:

Oscar Eduardo Checa Coral Ph.D

Universidad de Nariño

Centro de Investigaciones en Ciencias Agrarias

Maestría en Ciencias Agrarias con Énfasis en Producción de Cultivos

San Juan de Pasto

2022

Nota de Responsabilidad

“Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1ro N°324 de octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Superior de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Juan Vicente Romero Ph.D.

Jurado

Pedro Alexander Velasquez Ph.D.

Jurado

Daniel Marino Rodríguez M.Sc.

Jurado

Oscar Eduardo Checa Coral Ph.D.

Presidente

San Juan De Pasto, octubre 2022

Dedicatoria

A Dios.

A mis padres Luz Marina y Julio Cesar por educarme a través del amor.

A mi hijo Edson Emmanuel, por su extraordinaria compañía.

A mis hermanas Diana y Lisbeth por la sororidad y la satisfacción de una vida memorable.

A Edson, por la oportunidad de crecer juntos.

A mis amigos por sostenerme y acompañar este viaje.

A todas las personas que encontré en el tren.

Agradecimientos

A la Universidad de Nariño por ser el escenario magnifico de realidades convergentes, por el eco inexorable de sus paredes, por ser la edificadora de generaciones que avivan la esperanza de un futuro donde se construyen sendas para una mejor sociedad.

A los docentes del programa de Maestría en Ciencias Agrarias, por lo aprendido a través de sus experiencias y cátedras, sus enseñanzas impartidas, siempre me llenaron de inspiración.

A la Gobernación de Nariño, Fundación Ceiba y Ministerio de Ciencia Tecnología e innovación, por el financiamiento para el desarrollo de esta investigación.

Al grupo de investigación de Cultivos Andinos, por el gran legado al sector agrícola, por la oportunidad y confianza de trabajar con un equipo multidisciplinario, por su calidad humana y por los amigos que hoy caminan junto a mí.

Al doctor Oscar Eduardo Checa Coral, por su entereza y profesionalismo, por su espíritu de liderazgo y por su capacidad de pensamiento al servicio del sector agrícola. Siempre gracias por el camino recorrido.

Al doctor Daniel Marino Rodríguez, por la música, la estadística y la amistad, de quien aprendí que los libros son solo el umbral del conocimiento y que lo que nos permite hacer pensamientos con otras gentes, es el entender que estamos en el mundo con un propósito en común, el de ayudar y servir a los demás amando la vida y sobre todo sonriendo cada minuto, de cada día, del resto de nuestras vidas.

A mis jurados Juan Vicente Romero Ph.D y Pedro Alexander Velasquez Ph.D, por su guía en la realización de este trabajo y por todo lo aprendido.

Resumen

En las zonas cerealistas del departamento de Nariño el trigo y la cebada dejaron de ser una opción productiva rentable, desde la apertura económica de los años 90. La arveja por su contenido nutricional y la amplitud de su mercado puede constituirse en la nueva opción productiva de la zona cerealista. Se evaluó el comportamiento agronómico, reacción a enfermedades foliares, adaptabilidad y estabilidad y correlación genotípica de 20 líneas de arveja arbustiva con gen afila en cinco ambientes de la zona cerealista de Nariño. En cada ambiente se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se obtuvo diferencias estadísticas en la interacción genotipo ambiente para las variables número de vainas por planta, peso de vaina con grano, número de granos por vaina, peso grano por vaina, relación grano vaina, rendimiento en fresco y en seco. La reacción a enfermedades mostró valores de moderadamente resistente a susceptible. La adaptabilidad y estabilidad fenotípica se evaluó en la variable rendimiento en vaina verde. El modelo de Eberhart y Russell identificó a ARB3 y ARB19, como las de mayor adaptabilidad con un comportamiento predecible. El modelo AMMI identificó a ARB3, ARB15 y ARB19 como las mas estables. El rendimiento correlacionó genotípicamente con número de vainas por planta, peso de vaina con grano, número de granos por vaina y peso de grano verde por vaina. En el análisis de sendero las mayores contribuciones directas positivas fueron el peso de grano por vaina (1.40) y el número de vainas por planta (0.70), por lo tanto, estas variables se pueden usar como criterio de selección para identificar líneas promisorias de arveja arbustiva con gen afila de alto rendimiento.

Abstract

In the cereal-growing areas of the department of Nariño, wheat and barley ceased to be a profitable and productive option since the economic opening in the 90s. The pea (*P. sativum* L.) due to its nutritional content and the breadth of its market can become the new productive option of the cereal-growing. The agronomic performance, reaction to foliar diseases, adaptability and stability and genotypic correlation of 20 lines of bush pea with the afila gene were evaluated in five environments of the cereal growing area of Nariño. In each environment, a randomized block design with four repetitions was used. Statistical differences were obtained in the genotype-environment interaction for the variables number of pods per plant, pod weight with grain, number of grains per pod, grain weight per pod, grain to pod ratio, fresh and dry yield. Disease response showed values from moderately resistant to susceptible. Phenotypic adaptability and stability were evaluated in the green pod yield variable using Eberhart and Russell and AMMI methods. Within the lines that exceeded the overall mean, the Eberhart and Russell model identified ARB3 and ARB19 as the most adaptable with predictable behavior. The AMMI model, identified ARB3, ARB15 and ARB19 as the most adaptable. Yield correlated genotypically with number of pods per plant, pod weight with grain, number of grains per pod and green grain weight per pod. In the path analysis the highest positive direct contributions were grain weight per pod (1.40) and number of pods per plant (0.70), therefore, these variables can be used as a selection criterion to identify promising bush pea lines with high yield afila gene.

Contenido

	pág.
Resumen	vii
Abstract	viii
Introducción	16
1. Objetivos.....	19
1.1 Objetivo general	19
1.2 Objetivos específicos.....	19
2. Marco teórico	20
2.1 Origen y distribución de la arveja	20
2.2 Taxonomía	21
2.2.1 Caracteres morfológicos	22
2.2.2 Hábito de crecimiento.	23
2.3 Importancia socioeconómica de la especie.	24
2.3.1 Cultivo de arveja en Colombia	26
2.3.2 Cultivo de arveja en el Departamento de Nariño	27
2.4 Gen Afila.....	30
2.5 Componentes de la Variación Fenotípica	34
2.6 Adaptabilidad y Estabilidad.....	37
2.7 Correlaciones Genéticas.....	44
3. Materiales y Métodos.....	46
3.1 Localización.....	46
3.2 Material genético	47
3.4 Diseño experimental.....	48

3.5 Variables a evaluar	48
3.6 Análisis estadístico	51
4. Resultados y Discusión	56
4.1 Análisis de Varianza.....	56
4.2 Número de vainas por planta (NVP).	57
4.3 Peso de vaina con grano (PVCG).	61
4.4 Número de granos por vaina (NGV).	64
4.5 Peso de granos por vaina (PGV).	68
4.6 Relación grano vaina (RGV).	70
4.7 Rendimiento verde (RTO)	73
4.8 Rendimiento en grano seco (RTOS)	78
4.9 Reacción a <i>A. pisi</i>	82
4.10 Reacción a <i>E. pisi</i>	85
4.11 Adaptabilidad y Estabilidad fenotípica método Eberhart y Russell, para rendimiento en vaina verde de 20 genotipos de arveja arbustiva afila en cinco ambientes.....	87
4.12 Adaptabilidad y Estabilidad fenotípica método AMMI, para rendimiento en vainas verdes de 20 genotipos de arveja arbustiva afila en cinco ambientes.	91
4.13 Correlaciones genéticas.....	99
4.14 Análisis de sendero.....	102
Conclusiones	105
Referencias.....	106
Anexos.....	132

Lista de tablas

	pág.
Tabla 1. Interpretación para los parámetros de estabilidad, propuestos por Eberhart y Russell	42
Tabla 2. Características edafoclimáticas para los ambientes considerados en la presente investigación.....	46
Tabla 3. Cuadrados medios de las variables Componentes de rendimiento de 20 líneas de arveja arbustiva con gen afila en cinco municipios de la zona cerealista de Nariño.....	57
Tabla 4. Comparación de promedios para la variable número de vainas por planta para 20 líneas de arveja arbustiva (<i>P. sativum</i> L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño.....	59
Tabla 5. Comparación de promedios para la variable peso de vaina con grano para 20 líneas de arveja arbustiva (<i>P. sativum</i> L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño	62
Tabla 6. Comparación de promedios para la variable número de granos por vaina para 20 líneas de arveja arbustiva (<i>P. sativum</i> L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño.....	66

Tabla 7. Comparación de promedios para la variable Peso de grano por vaina para 20 líneas de arveja arbustiva (<i>P. sativum</i> L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño.	69
Tabla 8. Comparación de promedios para la variable Relación grano vaina para 20 líneas de arveja arbustiva (<i>P. sativum</i> L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño	72
Tabla 9. Comparación de promedios para la variable Rendimiento en verde para 20 líneas de arveja arbustiva (<i>P. sativum</i> L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño	75
Tabla 10. Comparación de promedios para la variable Rendimiento en seco de 20 líneas de arveja arbustiva (<i>P. sativum</i> L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño	79
Tabla 11. Reacción a <i>A. Pisi</i> en estipulas, zarcillos y vainas en la evaluación de 20 líneas de arveja arbustiva afila, en cinco ambientes de la zona cerealista de Nariño	83
Tabla 12. Reacción a <i>E. pisi</i> en estipulas, zarcillos y vainas en la evaluación de 20 líneas de arveja arbustiva afila, en cinco ambientes de la zona cerealista de Nariño	86
Tabla 13. Rendimiento promedio e índices ambientales en el análisis de adaptabilidad y estabilidad fenotípica	89

Tabla 14. Parámetros de estabilidad fenotípica para rendimiento en vaina verde en la evaluación de 20 líneas de arveja arbustiva con gen afila en cinco ambientes de la zona cerealista de Nariño	90
Tabla 15. Análisis de varianza AMMI del estudio de 20 líneas de arveja arbustiva con gen afila en cinco ambientes de la zona cerealista de Nariño	92
Tabla 16. Valores para Rendimiento promedio, componentes principales, valor de estabilidad AMMI (ASV) e índice de selección genotípica (GSI) para 20 líneas de arveja arbustiva con gen afila en cinco ambientes del departamento de Nariño.....	96
Tabla 17. Correlaciones genéticas para 5 caracteres en arveja arbustiva afila.....	100
Tabla 18. Efectos directos e indirectos de la correlación genética entre rendimiento y sus componentes en la evaluación de 20 líneas de arveja arbustiva afila.	103

Lista de figuras

	pág.
Figura 1. Escala de severidad para estimar daños causados por oidio (<i>E. pisi</i>).....	50
Figura 2. Escala de severidad para evaluación de <i>A. pisi</i>	51
Figura 3. AMMI Biplot para rendimiento en vaina verde (t.ha ⁻¹) de 20 líneas de arveja arbustiva c afila (<i>P. sativum</i> L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño.	94
Figura 4. Diagrama de coeficiente de sendero del rendimiento en 20 líneas de arveja arbustiva con gen afila.	104

Lista de cuadros**pág.**

Cuadro 1.	Genealogía de líneas de arveja arbustiva afila evaluadas.....	47
-----------	---	----

Lista de anexos

	pág.
Anexo A. Establecimiento de experimentos en cinco localidades del departamento de Nariño.	132
Anexo B. Resultados de las puntuaciones para la graficación del Biplot para rendimiento en vaina verde (t.ha ⁻¹) de 20 líneas de arveja arbustiva (<i>P. sativum</i> L.) en cinco municipios del departamento de Nariño.	133

Introducción

La arveja (*Pisum sativum* L.) se cultiva ampliamente en el mundo, incluyendo regiones como Europa occidental, América del Norte, India, Australia, Pakistán y América del Sur. Esta especie es multifuncional utilizada comúnmente para el consumo humano como legumbre por su semilla seca o como verdura fresca cultivada para granos inmaduros o vainas (Kocer y Albayrak, 2012; Saxesena et al., 2013; Ma et al., 2017; Das et al., 2019).

Esta leguminosa es predominantemente un producto orientado a la exportación, considerándose uno de los cultivos comerciales de mayor importancia constituyendo cerca del 40 por ciento del comercio total de leguminosas (FAOSTAT, 2020).

Esta especie es valorada principalmente debido a la riqueza en proteínas digestibles (21.2–32.9%), junto con vitaminas, aminoácidos, minerales y carbohidratos, Esta leguminosa contribuye a satisfacer las necesidades dietéticas globales de más de 900 millones de personas en condición de vulnerabilidad (Ceyhan y Avci, 2005; Das et al., 2019; Devi et al., 2019)

La amplia diversidad genética de *Pisum* ha ayudado a que este cultivo cubra una significativa área geográfica (Devi et al., 2021). El mejoramiento genético de los cultivos de arveja se ha establecido con éxito debido, en gran parte, a la manipulación de la arquitectura aérea a través de genes de control como el uso de mutaciones afila. Este polimorfismo genético conduce a la transformación de hojas en zarcillos si se presenta en los dos alelos en condición homocigota recesiva (*afaf*). En general se puede decir que, a mayor desarrollo del zarcillo, la resistencia al volcamiento es mayor (Wang et al., 2003; Reid y Ross, 2011; Burstin et al., 2018). La arquitectura afila en genotipos y variedades de arveja ha sido un componente clave para la tolerancia al estrés múltiple (sequia, severidad de enfermedades, volcamiento) (Le May et al., 2009).

La arquitectura afila en la planta de arveja ofrece ventajas al cultivo con respecto al alojamiento reducido y susceptibilidad disminuida a enfermedades que afectan hojas y vainas y una apertura más abierta del dosel, que favorece un mejor movimiento del aire, intercambio de CO₂ y penetración de la luz para la fotosíntesis. La presencia de numerosos zarcillos también ofrece un apoyo estructural de la planta que permite una mayor facilidad de cosecha. (Lenssen, 2018).

En el departamento de Nariño la zona cerealista no cuenta hasta el momento con alternativas productivas de rotación rentables, que puedan satisfacer las necesidades económicas de los productores rurales, (Checa et al., 2020a). La arveja arbustiva afila puede ser una opción de producción, al presentar características como: menores costos de producción por no requerir tutorados (Casanova et al., 2012); genotipos precoces con periodos vegetativos mínimos de hasta 90 días y con uniformidad en la maduración (Checa et al., 2017); resistencia al volcamiento permitiendo un manejo más eficiente del sistema de cultivo (Duque et al., 2019). Estas ventajas determinan el potencial de las arvejas arbustivas afila como una alternativa de producción para la zona cerealista del departamento de Nariño.

La estimación del comportamiento de genotipos de arveja arbustiva afila medida a través de la adaptabilidad y estabilidad fenotípica en diferentes entornos, es determinante para las recomendaciones de cultivares que garanticen beneficios agronómicos y económicos para los productores (Ceyhan et al., 2012; Ito et al., 2016). Aunque esta leguminosa se cultiva en una amplia gama de entornos, los genotipos evaluados en diferentes localidades, pueden presentar diferencias en el rendimiento debido al efecto de la interacción genotipo ambiente, lo que indica que algunos materiales se adaptan a una amplia gama de condiciones ambientales mientras que otros pueden tener adaptación específica, Por lo tanto determinar la adaptabilidad y estabilidad de los genotipos se convierte en una necesidad en los programas de fitomejoramiento (Goa et al., 2013).

Hasta la realización de la presente investigación, no se contaba con variedades de arveja arbustiva afila para la zona cerealista del departamento de Nariño, como una opción productiva y rentable (Checa et al., 2017). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar 20 líneas de arveja arbustiva afila por sus componentes de rendimiento y su adaptación en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Identificar líneas de arveja arbustiva afila de alto rendimiento y buena adaptación, como una alternativa de producción para la zona cerealista de Nariño

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar los componentes de rendimiento de 20 líneas de arveja arbustiva afila en cinco municipios de la zona cerealista de Nariño
- Determinar la adaptabilidad y estabilidad fenotípica de 20 líneas de arveja arbustiva afila según su rendimiento
- Establecer la relación genética entre los componentes de rendimiento en 20 líneas de arveja arbustiva afila.

2. Marco teórico

2.1 Origen y distribución de la arveja

La arveja (*P. sativum* L.), es uno de los cultivos domesticados más antiguos del mundo. La importancia de esta leguminosa se debe en gran parte a las múltiples características nutricionales que posee, al ser una fuente económica de proteínas, carbohidratos complejos, vitaminas y minerales (Husičková et al., 2019). La arveja según Vavilov es originaria de tres regiones geográficas: Abisinia, Kavkasia y el Mediterráneo (Pesic et al., 2013), de acuerdo con Casseres (1980) no se ha definido el verdadero centro de origen, que posiblemente se encuentra entre Europa y Asia Occidental. Sin embargo, es una leguminosa muy antigua que data de la edad de piedra. Cubero, J. y Moreno, M. (1983) señalan que, el centro de origen de esta especie es el Mediterráneo, debido a que en esta región todavía se encuentran arvejas silvestres de la especie *P. elatius*. a partir de la cual se obtuvo la variedad cultivada ya casi extinta *P. formosum* (Pesic et al., 2013; Smýkal et al., 2013).

Descubrimientos arqueológicos recientes de la domesticación de la arveja en la Baja Galilea, sitio prehistórico de Ahihud en Israel, arrojaron a la luz indicios sobre los primeros sistemas agrícolas en el sur de Levante. La datación por radiocarbono en el suelo indicó que el cultivo de arveja se practicaba en esta región desde hace 10.200-10.240 años a.C. (Caracuta et al., 2017).

Hacia el año 500 a.C la arveja se introdujo como cultivo desde Asia a Europa por los romanos y los griegos. “Los españoles se encargaron de introducir el cultivo por todo el continente Americano y desde entonces ha sido cultivado durante siglos” (Krall, 2006). Desde ese entonces la arveja se ha extendido por todo el mundo hacia regiones templadas y zonas altas de los trópicos siendo hoy ampliamente cultivada y consumida. (Herrera, 2020).

2.2 Taxonomía

La arveja (*P. sativum* L.) es una especie diploide ($2n = 14$ cromosomas), autógama, anual y herbácea (Smýkal et al., 2008; Almirón, 2015) El género *Pisum* pertenece a la familia Fabaceae, el cual contiene dos o tres especies dependiendo de la interpretación taxonómica. Junto a *P. sativum* L., otras dos especies reconocidas son: la especie silvestre *P. fulvum*, encontrada en las regiones de Siria, Jordania, Etiopia, Líbano y *P. abyssinicum* de Yemen y Etiopia, la cual fue probablemente domesticada independientemente de *P. sativum* y está representada por formas silvestres y cultivadas (Jing et al., 2010; Ellis et al., 2011; Ellis, 2011; Smýkal et al., 2011; Upadhyaya et al., 2011)

Clasificación taxonómica de arveja (*P. Sativum* L.)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Pisum*

Especie: *P. sativum* L.

(National Center for Biotechnology Information, 2022)

2.2.1 Caracteres morfológicos

Raíz: es pivotante, con numerosas raicillas secundarias y terciarias, presenta sobrecrecimientos denominados nódulos que contienen bacterias nitrificantes. El sistema radicular puede alcanzar profundidades de hasta 1 m y expandirse en un área de 50-70 cm de diámetro (Almirón, 2015)

Tallo: posee tallos trepadores, angulosos, delgados y ligeramente estriados. Con respecto al desarrollo vegetativo, existen variedades de crecimiento determinado e indeterminado (Jintia et al., 2016), dando lugar a tres tipos de variedades: enanas, de medio enrame o semivolubles y de enrame o volubles (PROMOSTA, 2005). De este modo, la altura de la planta puede ser de 0.3 a 2 metros según la variedad. (Almirón, 2015)

Hojas: las hojas son alternas, compuestas y paripinadas, constan de estípulas basales grandes, seguidas generalmente de uno a tres pares de folíolos oblongos proximales estando el terminal (y a veces los laterales superiores) transformados en zarcillos. Las estípulas, de tamaño mayor que los folíolos, se insertan en la base del pecíolo de la hoja, alcanzando longitudes de hasta 10 cm (FENALCE, 2013; Almirón, 2015)

Existe gran variabilidad en la arquitectura aérea, debido a la presencia de genes mutantes *af*, *st* y *tl*, los cuales son de orden recesivo y en estado de homocigosis, muestran modificaciones en la forma y el tamaño de los folíolos y estípulas (Hofer y Ellis, 1998). Las variedades áfilas (*afaf*) presentan zarcillos y mantienen las estípulas en su forma normal. El gen *st* en homocigosis (*stst*) reduce el tamaño de las estípulas considerablemente. En Europa se ha denominado variedades semiafila a aquellas que presentan el gen recesivo (*afaf*) y el gen dominante *St* cuya combinación genera un tipo de planta que manifiesta la presencia de zarcillos reemplazando los folíolos laterales y la presencia de estípulas grandes. De igual manera los europeos consideran a las variedades áfilas

como aquellas que presentan ambas mutaciones (*afaf* y *stst*), generando plantas que sólo tienen zarcillos y estípulas muy reducidas. Por su parte el gen (*tltl*) transforma todos los zarcillos en folíolos (Mihailović et al., 2004; Mishra et al., 2009).

Flores: Las flores zigomorfas pequeñas de 1 a 2 cm pueden ser solitarias o en inflorescencias pedunculadas de hasta tres flores, y se insertan por medio de un largo pedúnculo en la axila de las hojas. Las flores son pentámeras; el cáliz es gamosépalo de color verde pálido y muy persistente (Almirón, 2015). La corola está formada por pétalos irregulares llamados alas, estandarte y quilla. El estandarte y la quilla pueden ser blancos, rosados, lilas, naranjas o verdes; y las alas, púrpuras a blanquecinas, naranjas o verdes. Es una especie autógama y la polinización puede durar de dos a tres días, la aparición de la flor sirve como referencia para determinar si la variedad es precoz o tardía. (Jiantiach et al., 2016)

Fruto: los frutos son vainas alargadas y oblongas de color verde generalmente de cuatro a diez cm de largo y dos cm de ancho. Las vainas son algo comprimidas y terminan en una pequeña curva. Los frutos presentan un número variable de semillas, de cuatro a diez generalmente, casi esféricas, cuyos tamaños también son variables. Los granos pueden ser lisos o rugosos y con color de cotiledón, verde, amarillo o naranja. La vaina presenta dehiscencia por ambas suturas (Almirón, 2015).

2.2.2 Hábito de crecimiento.

Dentro de la especie *P. Sativum* L., coexisten variedades de crecimiento determinado (arbustivas) de hasta 90 cm de altura y otras de crecimiento indeterminado (volubles) con alturas que pueden superar los 2 m, posibilitando con esta característica el desarrollo de diferentes tipos de variedades, dependiendo del interés del mercado. Usualmente las variedades volubles se

destinan para la producción en fresco y las variedades arbustivas para la producción de grano seco, estas últimas pueden ser una alternativa de producción en la zona cerealista del departamento de Nariño (Checa et al., 2020a).

Variedades Arbustivas: son variedades de porte bajo, utilizadas ampliamente para la industria, caracterizada por ser una actividad económica especialmente de medianos y grandes productores. En Colombia su cultivo se ubicó en la sabana de Bogotá, debido a la cercanía con las empresas de procesamiento. En los últimos años este tipo de cultivo ha desaparecido paulatinamente, llegando a importar cantidades significativas del producto. No obstante, dadas las dificultades de la tecnificación de los materiales volubles por su sistema de tutorado y sus costos de producción, es pertinente trabajar con materiales arbustivos de porte bajo, precoces y con cualidades de vaina para consumo en fresco y para la agroindustria. (Gonzáles y Ligarreto 2006; Muñoz, 2012; Duque et al., 2019).

Variedades volubles: son variedades de crecimiento indeterminado, que tienen floración continua y porte alto, son rústicas y poseen periodos vegetativos más largos que las de crecimiento determinado, generalmente su producción se destina para el mercado en fresco (Muñoz, 2012).

2.3 Importancia socioeconómica de la especie.

A nivel económico la arveja es una leguminosa que tiene un escenario destacado en el mundo, se ubica como la segunda especie de mayor importancia de plantas cultivadas después del frijol, se consume abundantemente, en estado verde y como grano seco (Camargo, 2014), La arveja es un alimento que brinda excelentes propiedades nutricionales (Cheng et al., 2019), sus semillas son ricas en proteínas (23-25%), almidón (50%), azúcares solubles (5%), fibras, vitaminas y altos contenidos de hierro, zinc y magnesio (Amarakoon et al ., 2012). Es una leguminosa valiosa que

aporta junto a otras especies de la familia fabaceae alrededor de un tercio de la ingesta de proteínas de la humanidad. (Bastianelli et al., 1998).

El cultivo de arveja es importante para la seguridad y soberanía alimentaria de la población, por sus características nutricionales, por ser parte de la dieta diaria y por los ingresos que genera su comercialización, (Perales et al., 2009). Se caracteriza por ser una fuente económica de nutrientes convirtiéndose en una especie destacada para aliviar la desnutrición en países en vía de desarrollo, es un cultivo generador de ingresos para los agricultores de bajos recursos, que producen leguminosas a pequeña escala y que no tienen acceso a sistemas de riego o fertilizantes (Maphosa & Jideani 2017).

La arveja sirve como una fuente importante de alimento en la dieta animal; se utiliza en seco para la industria de alimentos balanceados y en fresco para forraje (Smýkal et al., 2012). A nivel mundial el uso de arvejas forrajeras ha crecido notablemente, En algunos países, especialmente europeos, se siembra para consumo animal en fresco o para ensilaje (Joshi & Rao 2017).

El cultivo de arveja con vocación para grano seco, se produce durante el verano en Australia, Canadá, China, India, Europa del Este y el Noroeste de los Estados Unidos; mientras que la producción para consumo en fresco se encuentra en todo el mundo durante las estaciones frías del año (Wu et al., 2017). Según la FAO, (2020) a nivel mundial, en el 2019, 99 países fueron productores de arvejas para grano seco, con una producción total de 15.643.107 toneladas. El principal país productor de arveja seca fue Canadá con 4.236.500 toneladas (43%); y le siguen en orden de importancia Rusia (24%), China (15%), Estados Unidos (10%) e India (6,1%). Con respecto a la demanda de arveja seca, los principales países importadores son India, China y Bangladesh. India es el principal consumidor de arvejas de granos amarillos.

El cultivo de arveja para producción en fresco se ha establecido para responder a necesidades especialmente relacionadas con la calidad del producto (dulzor, color, apariencia del hilio), mientras que la producción en seco se suele cultivar por su alto rendimiento y resistencia a las enfermedades (Checa et al., 2020b). Los cultivares para producción en fresco, se ubican principalmente en latitudes templadas, pero también se pueden encontrar en elevaciones altas cerca del ecuador (Smartt, 1990). La demanda del mercado para la arveja en fresco a nivel mundial, se ha incrementado notoriamente en los últimos años, debido a las tendencias de alimentación sana (McPhee, 2005; Liu et al., 2017). La arveja para consumo en fresco se produce en 88 países a nivel mundial, con una producción total de 21.770.120 toneladas. El principal país productor en el 2019 fue China con 13.399.958 t (61%), seguido por India 5.562.000 t (25%) y Francia 282.190 t (2%) (FAOSTAT, 2020).

2.3.1 Cultivo de arveja en Colombia

En Colombia el cultivo de arveja se produce en los valles de las tierras altas y en las mesetas interandinas, muchas de ellas caracterizadas por superficies de suelo de origen volcánico (Podwojewski et al., 2008). El cultivo de arveja (*P. sativum* L.) constituye un factor estabilizador de la economía de los pequeños productores de la zona Andina. Además, contribuye a la seguridad alimentaria y de empleo rural, por la cantidad de mano de obra que requieren las labores culturales del sistema productivo (Torres et al., 2020).

La arveja se cultiva en 11 de 32 departamentos a nivel nacional, especialmente en el clima frío y medio, localizados en el altiplano cundiboyacense, en el departamento de Nariño y en menor medida en otras regiones de gran altitud (cerca o por encima de los 2000 msnm) como Antioquia y Tolima (Cáceres y Gelves, 2011, Checa et al., 2020b). Este cultivo agrupa a casi 8.000 familias

de agricultores (Herrera, 2020). Se estima que de este cultivo dependen más de 26.000 productores y genera alrededor de 2.3 millones de jornales (Camargo, 2014).

La Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (FENALCE, 2020) afirma que en el país la totalidad de la producción de arveja se destina al consumo fresco como hortaliza, mientras que para el consumo en grano seco esta, es abastecida por importaciones, debido a que la producción nacional no responde a las exigencias del mercado nacional en grano seco. En el 2019 se importaron 42.179 toneladas, provenientes principalmente de Canadá (38.041), Estados Unidos (3.857) y Argentina (281).

En Colombia, el área sembrada de esta leguminosa es de 35.211 ha (Duque et al., 2019), con una producción de 131.634 t para consumo en fresco. El Consumo per cápita y el Consumo aparente de esta leguminosa en Colombia fue de 3.56 kg, y 173.113 t, respectivamente (FENALCE, 2020). El consumo de arveja ha alcanzado en diferentes segmentos de la población, principalmente urbana, un alto nivel de exigencia, donde las características físicas del producto constituyen un factor diferencial e indispensable. Por tanto, la decisión de compra se basa en el valor agregado (Torres et al., 2020).

2.3.2 Cultivo de arveja en el departamento de Nariño

En Colombia, el departamento de Nariño es el principal productor de arveja con un área sembrada de 15.816 ha (Duque et al., 2019) y una producción de 64.621 toneladas, seguido por los departamentos de Cundinamarca (30.240 t), Boyacá (25.700 t), Antioquia (4.295 t) y Tolima (3.891 t) (FENALCE 2020), es así como esta especie se ha establecido especialmente en zonas de minifundio en áreas que van desde los 0.5 a 2.5 hectáreas en promedio (Herrera, 2020). En Nariño, se cultiva una gran superficie de arveja, empleando a más de 30.000 personas en la cadena

productiva, lo que convierte a este cultivo, en uno de los rubros económicamente más significativos de la economía rural de la región, con un valor de más de 150 M de dólares por año (Checa et al., 2020b).

Las variedades más utilizadas en Nariño son Sureña, San Isidro, Obonuco Andina y Sindamanoy, siendo todas de hábito de crecimiento voluble (Checa & Rodríguez, 2015). No se cuenta, hasta el momento, con arvejas de hábito de crecimiento arbustivo.

La introducción de variedades mejoradas de arveja en Nariño fue sin duda alguna, un precedente histórico que cambió y dinamizó la agricultura en este departamento, los municipios donde se centró la producción de arveja para consumo en fresco fueron: Córdoba, Ipiales, Pupiales, Gualmatán y Contadero, consiguiendo con éxito altos rendimientos (10-15 t. ha⁻¹) y posicionamiento a nivel nacional, con granos de mejor calidad y menos sensibles a daños en poscosecha (Herrera, 2020).

No obstante, los avances en mejoramiento genético de arveja en Nariño y en Colombia se han dirigido a la obtención de variedades de hábito de crecimiento voluble, y no se había contemplado la obtención de variedades arbustivas. Las variedades volubles tienen la restricción de los altos costos que se requieren para establecer los sistemas tutorados los cuales representan el 52% de los costos totales del cultivo por hectárea (Torres et al., 2020). Los agricultores de las zonas cerealistas de Nariño no disponen de recursos económicos para sembrar variedades de arveja voluble que requieren sistemas tutorados. El departamento cuenta con áreas adecuadas para producir arvejas arbustivas, siendo una alternativa de diversificación en la zona cerealista de Nariño, por su capacidad de adaptación, alto potencial de rendimiento y posibilidad de cosecha en verde o vaina de grano seco, según las condiciones del mercado (Duque et al., 2019).

2.3.2.1 Condiciones Agroclimáticas para el Cultivo de Arveja en el Departamento de Nariño.

El cultivo de arveja requiere condiciones edáficas y climáticas específicas para alcanzar altas producciones y un óptimo desarrollo del ciclo de cultivo. El comportamiento de esta especie depende de la interacción de diferentes factores biofísicos.

Suelos: Los suelos aptos para el cultivo de la arveja deben ser de texturas medias, franco limosas (FL) a franco-arcillo-arenosas (FarA), con profundidad efectiva de 45 a 60 centímetros, bien drenados, ricos en materia orgánica, pH o acidez de 5,5 a 6,5 y buena fertilidad natural o disponibilidad de nutrientes. (Checa et al., 2022).

Temperatura: La arveja en Nariño se cultiva en climas fríos y medios, en alturas sobre el nivel del mar que van desde los 1.800 a los 2.800 metros, temperatura óptima de 13 a 18 °C, con media máxima de 21 °C y mínima de 9 °C. Las flores, las vainas y los granos tiernos son fuertemente afectados cuando se presentan heladas a temperaturas de -1 a -2 °C. (DANE 2015; Checa et al., 2022)

Requerimiento hídrico: La arveja necesita de 250 a 380 milímetros de agua bien distribuidos durante el ciclo del cultivo, con mayor demanda durante la etapa de crecimiento y floración (Checa et al., 2022). Es muy sensible a la escases hídrica, sobre todo en épocas de crecimiento e inicio de la floración. En sus diferentes etapas fenológicas la arveja requiere 35.4 mm en 9 días de emergencia, 79.1 mm en 16 días de desarrollo, 53.8 mm en 24 días de floración y 38.7 mm en 47 días de llenado de vainas, como requerimiento hídrico (Checa et al., 2022).

Brillo solar: La arveja se adapta bien a una radiación solar elevada con rendimientos alto en zonas donde prevalece un brillo solar superior a 5 horas/día (Ligarreto, 2012).

2.4 Gen Afila

2.4.1 Contexto Histórico

El gen *afaf* que convierte las hojas en zarcillos (Riascos et al., 2018), se conoce en las colecciones de arveja desde 1952. Durante los inicios de la guerra fría estos genes fueron confiscados en Polonia por el ejército de la Unión Soviética y llevados a los Estados Unidos e Inglaterra para continuar su introgresión y mejoramiento genético en cultivares comerciales. Solovieva, 1955 informó del hallazgo del gen mutante espontáneo denominado afila con origen en la URSS desde 1949. Después de una selección adicional, este gen se registró oficialmente en el cultivo de arveja en 1965, se adaptó con buenos resultados. Por razones aún desconocidas, los mejoradores no mostraron interés en esta mutación. Sin embargo, a fines de los años sesenta, el investigador Brian Snoad del instituto John Innes en Inglaterra y Mitch Kielpinski y científicos de Polonia, lo incluyeron nuevamente en sus programas de fitomejoramiento. En Polonia, la reproducción se centró en los cultivares de arveja para producción en seco, que se esperaba tuvieran una mejor capacidad de resistencia al volcamiento y, por lo tanto, se adaptaran mejor a la cosecha mecánica. (Kielpinski et al., 1982; Singh et al., 2013).

2.4.2 Mejoramiento genético de Cultivares Afila

El cultivo de arveja ha sido ampliamente estudiado a nivel genético para mejorar caracteres como: rendimiento de grano, contenido de proteico de la semilla, resistencia a enfermedades o la tolerancia a diversos tipos de estrés. *P. Sativum* L., es un organismo modelo para estudiar el papel de los genes en el desarrollo de las hojas compuestas, se conoce una gran cantidad de mutaciones que tienen efectos múltiples en la forma de la hoja (Marx 1987; Murfet y Reid 1993; DeMason y Chawla 2004).

El gen *afaf* se encuentra reportado por Kujala quien describió la mutación en 1953 (citada por Hofer y Ellis, 1998). Solovieva (1958) y Goldenberg (1965) reportaron más tarde fenotipos similares en casos espontáneos de los cultivares Svoboda y Cuarentona respectivamente (Burstin et al., 2018). La condición afila conduce a la transformación de las hojas en zarcillos, que tienen la tendencia a enredarse entre sí, logrando que las plantas se apoyen mutuamente, las hojas transformadas en zarcillos trajeron beneficios fisiológicos y de arquitectura de planta que garantizaron con éxito el desarrollo de este cultivo en muchas zonas agroecológicas (Biddle, 2017; Burstin et al., 2018; Husíčková et al., 2019).

El mejoramiento genético de cultivares de arveja alrededor del mundo, se debe en gran medida al éxito en la manipulación de la arquitectura aérea, con el uso de plantas afila (Hofer y Ellis, 1998; Reid y Ross, 2011). El gen *afaf* conlleva a la manifestación fenotípica siempre que se presente de forma homocigota recesiva (*afaf*), esta mutación modifica la arquitectura aérea donde las hojas se reducen a zarcillos y la planta usa la estípula, una superficie basal de la hoja en el tallo principal y el pecíolo de la hoja, para la fotosíntesis y la transpiración (Goldman et al., 1992; Tafesse et al., 2019). Los zarcillos, permiten que las plantas resistan el volcamiento temprano, que es una característica presente en las variedades de hojas convencionales, permitiéndole a las variedades afila una mejor capacidad para mantenerse erguidas, (Kujala, 1953; Lanfond, et al., 1981; Checa y Rodríguez, 2015).

La manipulación de la arquitectura aérea, con plantas afila (*afaf*) ha sido un componente clave para mejorar la tolerancia al estrés múltiple, pues determina la estructura del dosel evitando el volcamiento y la epidemiología de las enfermedades (Tivoli, 2009; DeMason et al., 2013; Burstin et al., 2019). Cuando se acerca la madurez, el secado del cultivo es más rápido y uniforme. Las variedades afilas tienden a incrementar su productividad respecto a las variedades convencionales

(Cousin, 1986; Jannink et al., 1996; Djordjevic, 2001). La modificación de hojas por zarcillos puede reducir el área foliar y corresponde a las estipulas cumplir en mayor grado la función fotosintética, en ausencia de los foliolos laterales (Cote et al. 1992).

La condición afila reduce el volcamiento, mejora la intercepción de luz y la aireación del dosel, mayor resistencia a patógenos y plagas, mejor respuesta al clima seco, mejor uniformidad de maduración, secado más fácil y cosecha mecánica y en algunas investigaciones rendimientos de grano aún mayores (Djordjevic et al., 2001; Tao et al., 2017), En condiciones de estrés, el genotipo *afaf*, muestra una tasa de intercambio de CO₂ más rápida, una resistencia estomática y una temperatura del dosel más baja. Esto permite un consumo reducido de agua del suelo, siendo los materiales afila más aptos para condiciones de escases de agua. (Lenssen, 2018)

Sin embargo, algunos investigadores mencionan que la presencia del carácter afila puede limitar el rendimiento como consecuencia de la reducción del área fotosintética de las plantas. Investigaciones más profundas afirman que el rendimiento no depende de un solo gen, sino de un conjunto amplio de genes, siendo posible encontrar cultivares que presenten buen comportamiento en cuanto a componentes de rendimiento en materiales tipo afila (Department of horticultural science, 1999). En este sentido, una posible disminución de rendimiento se puede atribuir a la genética de los progenitores y a la existencia de múltiples genes que gobiernan la expresión en cuanto a componentes de rendimiento (Makasheva, 1983; Riascos et al., 2020). La combinación del gen *afaf* que reemplaza las hojas laterales por zarcillos con el gen *St* que genera estipulas grandes es una condición favorable para obtener genotipos con gen afila productivos. En contraste la combinación de el gen afila *afaf* con el gen *stst* (condición recesiva) genera plantas sin follaje y con estipulas reducidas que son de baja producción (Checa et al., 2022).

Cultivares afila tienen mejor respuesta al estrés por sequía, mantienen plantas erguidas, dosel más frío durante el estrés por calor. (Tafesse et al., 2019; Ito et al., 2016), al ser más eficientes en el uso del agua, debido a que hay menos pérdida por transpiración al tener menos superficie foliar, son materiales que toleran de manera más eficiente las condiciones de sequía. (Martin et al., 1994; Tafesse et al., 2019).

En el mundo se han reportado varios lanzamientos de variedades de arveja afila, en diferentes años, entre las cuales se encuentran: Solara en 1986, Alex y Choque en 1989, Amadeus en 1992, Charleston y Astuceen 1993, (Department of horticultural science, 1999) part y Stampe de en 1990, Brisca-INIA en 1996 (Mera et al., 1996), Golijat en 2001 (Nickerson, 2003).

Filigreen es una variedad afila inglesa fue el padre donante de materiales genéticos que se evaluaron en el trabajo denominado “correlaciones de rendimiento y componentes de rendimiento para afila y hojas normales (*P. sativum* L.), (Nickerson, 2003). Por otra parte la variedad afila Dove de crecimiento determinado que fue obtenida en Francia por el INRA, es una arveja de invierno con tolerancia al frío, la cual tiene un rendimiento promedio de 2.6 t.ha⁻¹ en vaina verde con densidades de siembra altas, de 90 semillas por m². (Blixt, 1972; Genvce, 2008). Cabe mencionar que la variedad Dove fue utilizada como parental de algunos genotipos a evaluar en la presente investigación.

En los últimos años se han desarrollado variedades afila que presentan características ventajosas respecto a estrés abiótico y altos rendimientos. El cultivar de primavera CDC Le Roy que ha sido mejorado para sobrevivir en los relieves canadienses relativamente fríos (Warkentin et al., 2009). La Variedad Terno que presenta altos rendimientos, desarrollada en la Republica Checa (Kreuzman et al., 2006), el Material Enduro mejorado para sobrevivir. inviernos suaves del sur de

Francia (Mezlík et al., 2010). En Colombia las primeras variedades afila desarrolladas son: Udenar Afila, Udenar Crespa y Udenar Rizada 2020, materiales de tipo voluble con adaptación para la zona sur del departamento de Nariño (Checa et al., 2022).

2.5 Componentes de la Variación Fenotípica

La expresión de todos los caracteres cuantitativos y cualitativos en las plantas está determinada por dos componentes básicos, uno es la constitución genética que controla la expresión del carácter y el segundo es la contribución que le hace el ambiente a la expresión del componente genético (Vallejo et al., 2005).

La expresión fenotípica (F) de los diferentes caracteres es dependiente del genotipo (G), ambiente (A) y de la interacción genotipo por ambiente (GxA) (Buelvas et al., 2020)

$$F = G + A + GxA$$

El genotipo es la constitución hereditaria completa (expresada y latente) de un organismo. Comprende todos los genes localizados en los cromosomas y los factores de herencia citoplasmática. Ambiente es el conjunto de todas las condiciones externas que afectan el crecimiento y desarrollo de un organismo (Vallejo et al., 2002).

En un sentido amplio, entendemos por ambiente todos los factores intra y extra celulares que influyen en la expresión del genotipo. El modelo aditivo dominante que desarrollamos y utilizamos hasta ahora, establece que las diferencias genéticas y ambientales, contribuyen independientemente unas de otras para la variación fenotípica. Es necesario considerar la interacción de los genotipos en los diferentes ambientes y el modo como tal interacción ocurre y como puede ser detectada, medida y avalada (Vencovsky y Barriga 1992).

Las condiciones ambientales que contribuyen para las interacciones con los genotipos pueden ser agrupadas según Allard y Bradshaw (1964), en dos categorías: las predecibles y las impredecibles. En la primera se incluyen las variaciones ambientales que ocurren de región a región, en el área de distribución del cultivo. Se incluyen las características generales de clima y suelo y aquellas que fluctúan de manera sistemática como el brillo solar, la altitud, latitud, radiación solar entre otras. También se incluyen en este grupo, los factores de ambiente que están bajo el control del hombre, como las prácticas agronómicas; época de siembra, época de cosecha, dosis y fórmulas de fertilización, métodos de labranza, etc. Las variaciones impredecibles comprenden por ejemplo las de tipo climático en el ámbito de una misma región, como la cantidad de distribución de la lluvia, las oscilaciones de temperatura, humedad relativa, presiones repentinas de insectos o enfermedades y otras que no podemos prever con seguridad. (Porceddu, 1970; Vallejo et al., 2002).

2.5.1 Consideraciones generales sobre la interacción Genotipo Ambiente

La interacción Genotipo x Ambiente (IGA) se refiere a la condición en la cual el comportamiento de los genotipos difiere a través de los diferentes ambientes de evaluación (Fehr, 1987), ya sea en el espacio o en el tiempo. También se presenta cuando los ambientes no tienen el mismo efecto sobre los genotipos (Eberhart y Russell 1966), y reducen la correlación entre los valores fenotípicos y genotípicos dificultándose con esto la selección de genotipos, ya que tiende a presentar una respuesta diferencial a través de los ambientes de evaluación (Vallejo et al., 2005).

A pesar de la diversidad de modelos estadísticos comúnmente empleados para el análisis de la interacción genotipo ambiente, todos tienen en cuenta la aditividad de los efectos que los componen, tales modelos son también lineales en sus parámetros. Un modelo general para

describir el comportamiento de materiales genéticos estudiados en diferentes ambientes, se presenta de la siguiente manera (Vencovsky y Barriga 1992).

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + (GA)_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Respuesta del i ésimo genotipo en el j ésimo ambiente

μ = media general

G_i = Efectos del i ésimo genotipo

A_j = efecto del j ésimo ambiente

$(GA)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i ésimo genotipo por j ésimo ambiente

E_{ij} = Error experimental de la observación ij

En los programas de mejoramiento genético, al establecerse la fase culminativa de los genotipos con alto potencial de rendimiento de grano y buenas características agronómicas, los materiales deben ser evaluados en un conjunto de ambientes (localidades), teniendo en cuenta que sean, las principales zonas de producción del cultivo (Pandey & Vargas 1985; Acevedo et al., 2010). Cuando los caracteres se encuentran bajo el concepto de herencia cualitativa o Mendeliana es decir que el carácter esté controlado por un número reducido de genes, la IGA no es necesariamente una fuente representativa de varianza. Pero si por el contrario un carácter está gobernado por varios loci, con pequeños efectos de varianzas aditivas, dominantes y epistáticas (herencia cuantitativa), la IGA adquiere mayor importancia; esto debido a que se conoce que varios efectos genéticos

interactúan con el ambiente afectando la expresión fenotípica del genotipo (Pandey y Vargas 1985).

La comprensión de la magnitud y la naturaleza de la IGA, favorece la elección del número total de ambientes, donde los genotipos deberán ser evaluados, esto con el fin de lograr la precisión necesaria en el comportamiento de los genotipos y sus diferencias, además el conocimiento de la IGA, puede ayudar a determinar si los cultivares se desarrollan a escala general es decir para todos los ambientes de interés, o si se deberían desarrollar materiales para ambientes específicos (Yan y Kang 2007).

2.6 Adaptabilidad y Estabilidad.

Otro enfoque en relación al fenómeno de la IGA, es el que se conoce como estudio de adaptabilidad y estabilidad de cultivares o genotipos. Adaptación y estabilidad, aunque sean fenómenos relacionados, algunos autores mencionan que no deben ser considerados como sinónimos, sino empleados como dos conceptos diferentes. (Vencovsky & Barriga 1992).

El termino adaptabilidad se usa para determinar la capacidad potencial de genotipos que pueden asimilar de manera ventajosa el estímulo ambiental, lo cual se considera una ventaja desde el punto de vista de rendimiento agrícola. Por otro lado la estabilidad es considerada como la capacidad de los genotipos de exhibir un desempeño lo más constante posible en función de las variaciones de tipo ambiental (Vencovsky & Barriga 1992).

Las definiciones de estabilidad y adaptabilidad varían en términos conceptuales. De tal forma que, algunos autores la definen como la capacidad que tiene un determinado genotipo para impedir variaciones relevantes en el carácter, teniendo en cuenta un rango de condiciones ambientales. (Heinrich et al., 1983). Eberhart y Russell (1996) manifiestan que un material estable es aquel que

no presenta ninguna interacción con el ambiente, sino que su comportamiento responde mejor a los cambios ambientales. Por otra parte, Baena y colaboradores (1991) argumentan que, en la estabilidad de un genotipo, se debe tener en cuenta el comportamiento de este, en un mismo ambiente, pero que debe ser probado en diferentes épocas, de tal manera que en la evaluación se determina el efecto de las condiciones climáticas que cambian de un periodo a otro (año, semestre).

Hanson (1970) afirma que un genotipo estable, indiscutiblemente es aquel que muestra menor variación de rendimiento en todos los ambientes evaluados. En términos generales una de las definiciones o concepto más preciso que encontramos sobre estabilidad es el mencionado por Laing (1978,) pues define la estabilidad como la respuesta de orden relativo de una variedad o genotipo a las variaciones del ambiente en una localidad específica. Además, el mismo autor asegura que estabilidad espacial se define como la variación entre repeticiones dentro de un mismo ambiente, y la estabilidad temporal es la variación de una estación de cultivo a otra.

El Concepto de adaptabilidad está ligado al comportamiento de genotipos en diferentes ambientes. Laing (1978) determinó la adaptabilidad como la respuesta de un material cuando es cultivado en diferentes localidades, llegando a nuevos conceptos: adaptabilidad amplia, donde se considera el comportamiento relativo de los genotipos bajo una diversa variedad de ambientes y adaptabilidad específica: definida como el comportamiento de genotipos bajo una estrecha variedad de ambientes

En términos generales los conceptos de estabilidad y adaptabilidad han sido utilizados de manera variable, sin que exista unanimidad de resultados y criterios, evidenciando gran disparidad, en relación a si materiales que resulten estables, son también adaptables. Muchos investigadores han sugerido que la estabilidad se encuentra determinada por la genética del material estudiado, inmersos en que la estabilidad y adaptabilidad muestran una alta correlación y que por ende la falta

de estabilidad es indicadora de falta de adaptabilidad. Sin embargo, Baena y colaboradores. (1991), encontraron que la adaptabilidad y estabilidad no estaban asociadas, al estudiar de manera alterna los efectos de localidad y semestre, indicando que los genetistas y fitomejoradores no pueden identificar o seleccionar a través de localidades para hacerlo por estabilidad.

2.6.1 Métodos para medir la Estabilidad y Adaptabilidad

Para el lanzamiento comercial de nuevos cultivares, es importante estudiar los comportamientos de varios genotipos en diferentes regiones de cultivo. Para minimizar los efectos de la IGA, es necesario analizar la adaptabilidad y estabilidad de cada cultivar para identificar genotipos con comportamiento predecible que respondan a variaciones ambientales bajo condiciones generales y específicas. (Freiria et al., 2018).

Se han descrito varios métodos para estudiar la adaptabilidad y la estabilidad de genotipos, algunos de estos métodos se basan en análisis de varianza (Plaisted y Peterson 1959; Wricke 1965; Annicchiarico, 1992), modelos no paramétricos (Lin y Binns 1988; Huehn, 1990), regresión (Finlay y Wilkinson 1963; Eberhart y Russell 1966), análisis multivariado (Zobel et al., 1988; Yan et al., 2000; Nascimento et al., 2013) o modelos mixtos (Resende, 2004).

La elección del método para evaluar la adaptabilidad y la estabilidad está ligada al número de entornos disponibles, así como al tipo de información y al nivel de precisión experimental requerida (Freiria et al., 2018).

Sabemos que el método de Eberhart y Russell (1968), se basa en un coeficiente de regresión lineal y en la varianza de las desviaciones de regresión, que son estimados para cada tratamiento genético. En el caso considerado para un carácter dado, la regresión relaciona las medias de un

tratamiento en diferentes ambientes, con índices caracterizadores de la calidad de esos ambientes. Consideramos el caso en que algunos cultivares (tratamientos genéticos) son evaluados en diferentes localidades (ambientes). Subentendemos que, en cada localidad fue instalado un experimento, con un cierto número de repeticiones. El modelo propuesto por Eberhart y Russell (1966) es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} + E_{IJ}$$

Donde:

Y_{ij} = promedio del genotipo i en el ambiente j.

μ_i = promedio del genotipo i en todos los ambientes.

β_i = coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo i al variar los ambientes.

I_j = índice ambiental del ambiente j-ésimo, que se calcula como la desviación del promedio de los genotipos en un ambiente dado a partir del promedio general.

δ_{ij} = desviación de la regresión

E_{IJ} = error experimental promedio

En esta metodología cada cultivar es caracterizado por el coeficiente β_i y por la variancia de los desvíos de la regresión (Tabla 1). Un cultivar ideal es aquel que tiene una media general adecuada para el carácter (alto rendimiento), coeficiente de regresión =1, lo cual indica que el cultivar modifica su comportamiento de modo regular conforme las características ambientales se alteran, y variancia de la desviación = 0, que indica que el cultivar se modifica con las variaciones ambientales de un modo predecible, o sea siguiendo una regresión lineal perfecta (Raj et al., 2019)

Si tenemos un valor mayor a 0 en la varianza de la regresión, esto indicaría que el comportamiento será errado e impredecible, si el coeficiente de la regresión fuese mayor que 1 tendremos un cultivar mejor adaptado en ambientes favorables, el tendrá una respuesta superior sobre las condiciones ambientales mejoradas, pero puede no responder adecuadamente en ambientes inferiores. Por el contrario, si el coeficiente de regresión es menor que 1, el cultivar ciertamente tiene una respuesta inferior pero también puede ser menos exigente, pudiendo adaptarse o ser adecuado para ambientes de calidad inferior, tratándose entonces de una adaptación específica a ambientes con mayor estrés (Vencovsky & Barriga 1992).

Tabla 1.

Interpretación para los parámetros de estabilidad, propuestos por Eberhart y Russell

Coefficiente de regresión ($\beta=1$)	Cuadrado medio de la desviación de la regresión (S^2d)	Significado
= 1	= 0	Variedad adaptable y predecible
= 1	> 0	Buena respuesta en todos los ambientes, pero no predecible
< 1	= 0	Mejor respuesta en ambientes desfavorables y predecible.
< 1	> 0	Mejor respuesta en ambientes desfavorables, pero poco predecible.
> 1	= 0	Mejor respuesta en ambientes favorables y predecible.
> 1	> 0	Mejor respuesta en ambientes favorables, pero poco predecible.

Fuente: Vallejo et al. (2010).

Se considera a la desviación de la regresión como la medida más importante para validar la estabilidad y el coeficiente de regresión como el parámetro indicador de la adaptabilidad conjuntamente con la media general del cultivar (Vencovsky & Barriga 1992).

Este método ha sido empleado para el estudio de la adaptabilidad y estabilidad en varias especies vegetales como: avena trigo, arroz, soya, sorgo, maíz, frijol, yuca entre otros. Se utiliza preferiblemente cuando se tiene un número pequeño de ambientes, generalmente menor a siete localidades (Vencovsky & Barriga 1992).

El modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), combina el análisis de varianza para los componentes principales de genotipos y ambientes con el análisis de componentes principales de la interacción de genotipo por ambiente. Los resultados de AMMI,

pueden ser graficados en un biplot en donde se colocan tanto los efectos principales, como los efectos de interacción para los genotipos y los ambientes.

El modelo AMMI está representado en la siguiente ecuación:

$$y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n Y_{gn} \delta_{en} + \epsilon_{ger}$$

Donde:

y_{ger} : Rendimiento observado del genotipo g en el ambiente e para la repetición r.

Parámetros aditivos:

μ = Gran media

α_g = Desviación del genotipo g de la gran media

β_e = Desviación del ambiente e

Parámetros multiplicativos:

λ_n = Valor singular para el eje n del componente principal de interacción (CPI).

Y_{gn} = Eigenvector del genotipo g para el eje n.

δ_{en} = Eigenvector del ambiente e para el eje n.

Dado que el modelo AMMI no prevé una medida de estabilidad cuantitativa y como tal medida es esencial para cuantificar y clasificar los genotipos en términos de estabilidad del rendimiento, Purchase y colaboradores (2000) desarrollaron una fórmula para medir la estabilidad de los genotipos a través del valor de estabilidad de AMMI (ASV).

En efecto, el ASV es la distancia desde cero en un diagrama de dispersión bidimensional de las puntuaciones de IPCA1 frente a las puntuaciones de IPCA2. Dado que la puntuación IPCA 1 contribuye más a la suma de cuadrados de G x A, debe ponderarse por la diferencia proporcional entre las puntuaciones IPCA 1 e IPCA2 para compensar la contribución relativa de las puntuaciones IPCA 1 e IPCA2 al total de la suma de cuadrados de la IGA. (Purchase et al., 2000).

Sin embargo, la estabilidad no debería ser el único parámetro para la selección genotipos superiores, porque los materiales más estables no necesariamente tienen alto rendimiento, por lo tanto, es preciso incorporar el rendimiento medio y la estabilidad en un solo criterio. Dicho criterio se denomina índice de selección genotípica (GSI), donde el ranking de los genotipos medidos a través del ASV y el ranking de las líneas medidas a través del rendimiento medio se incorporan en un solo índice de selección. El genotipo con el índice de selección más bajo se considera como el más estable y con alto rendimiento.

2.7 Correlaciones Genéticas

En el campo del mejoramiento genético de plantas es necesario evaluar poblaciones en diferentes ambientes o localidades, durante varias generaciones, con la finalidad de entregar variedades que se adapten a los requerimientos o necesidades de los productores agrícolas. Se debe siempre proceder a la selección de genotipos promisorios, esto puede ser de naturaleza compleja, cuando se evalúan al mismo tiempo diversas variables. (Riascos et al., 2020). Esta selección de líneas se puede facilitar con la identificación de correlaciones entre los caracteres; las cuales pueden ser de tipo fenotípico, genotípico o ambiental, aunque las de mayor confianza son aquellas correlaciones genéticas, por ser las únicas de característica heredable, el uso de correlaciones fenotípicas puede ser riesgoso pues en ellas se incluyen expresiones de naturaleza tanto genética como ambiental (Checa y Blair 2005 y Espitia et al., 2008).

Pacheco y colaboradores (2011) mencionan que, para una eficiente selección de genotipos de arveja, las variables más relevantes son el rendimiento y sus componentes, debido a la influencia de varios factores contribuyendo al rendimiento. Siddika et al. (2013) determinó que al conocer las correlaciones de manera simultánea que aportan a un carácter, mejoran el proceso de selección más aún si la característica deseable se encuentra ligada al rendimiento.

Ceyhan y Avci (2005) afirman que el rendimiento y sus componentes pueden correlacionarse por efectos genéticos pleiotrópicos, interactuando mutuamente, que pueden responder a asociaciones positivas o negativas, en este sentido el coeficiente de correlación (r_G), estima el grado y naturaleza de dichas asociaciones, principalmente en procesos de selección de caracteres de baja heredabilidad, difícil identificación y baja respuesta para lograr ganancia genética (Espitia et al., 2008).

En arveja se han desarrollado algunas investigaciones en torno a determinar la existencia de correlaciones entre el rendimiento y sus componentes, podemos mencionar a Đorđević et al. (2004) y Pantoja et al. (2014), quienes evaluaron líneas de arveja con característica afila, encontrando que existía una alta correlación entre rendimiento y sus componentes.

Aunque el uso de los coeficientes de correlación en la cuantificación de la magnitud y dirección de los efectos de las variables correlacionadas, es de gran utilidad, no revelan la importancia precisa que tienen los efectos directos e indirectos.

El análisis de sendero es un método bastante útil para predecir valores de variables de interés, a través de modelos y diagramas donde se puede interpretar la magnitud de los efectos directos e indirectos de una serie de variables independientes “X”, sobre una variable dependiente “y”, de esta manera, llegar a un modelo o diagrama definitivo (Vencovsky y Barriga 1992; López y Ligarreto 2006, Abbott et al., 2007; Espinoza, 2018). A través del análisis de sendero es posible identificar variables independientes X como son los componentes de rendimiento, que puedan utilizarse para hacer selección indirecta respecto a la variable dependiente Y que puede ser el rendimiento.

3. Materiales y Métodos.

3.1 Localización

Las actividades experimentales de campo se llevaron cabo en cinco municipios correspondientes a la zona cerealista del departamento de Nariño: Ospina, Guaitarilla, Tangua, Yacuanquer y Pasto (Tabla 2).

Tabla 2.

Características edafoclimáticas para los ambientes considerados en la presente investigación

Localidad	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	ASNM (m)	Tipo de suelo	Coordenadas
Pasto	16.55	436.9	2627	Tipic haplustad	N 01°12'54.69" W 077°15'34.4"
Yacuanquer	17.92	365.7	2610	Ultic haplustalfs	N 01° 06' 24.8" W 077° 26' 00.5"
Ospina	15.45	494.2	2861	Ultic haplustalfs	N 01°02'54.1" W 077°34'22.40"
Tangua	17.98	296.9	2750	Ultic haplustalfs	N 01°06'34.7" W 077°23'21.4"
Guaitarilla	23.28	401.2	2825	Ultic haplustalfs	N 01° 06' 47.0" W 077° 32' 03.6"

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. 2004. Estudio General de suelos y clasificación de tierras del Departamento de Nariño. Subdirección de Agrología. Bogotá D. C. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2022.

Los ambientes son una muestra representativa de zona cerealista de Nariño y presentan divergencia entre ellos, debido a su topografía con drásticos relieves que evidencian una clara heterogeneidad en factores como temperatura, suelo y precipitación. Esta heterogeneidad puede ocasionar respuestas diferenciales de los genotipos debido a su influencia en el comportamiento de los materiales.

3.2 Material genético

Entre los años 2012 y 2018 se realizaron cruzamientos entre líneas arbustivas c afila identificadas como Dove e ILS3575 (Padres Donantes), y variedades volubles como San Isidro y Sindamanoy Isidro (Padres Recurrentes). El objetivo fue obtener líneas de arveja arbustiva afila, con características de vaina y grano similares a las variedades volubles y con alto rendimiento y adaptación a los municipios cerealistas de Nariño. En la obtención de las líneas luego del cruzamiento, se combinaron diferentes métodos para el manejo de poblaciones segregantes, entre ellos retrocruzamientos, selecciones masales y selecciones individuales, hasta llegar a la obtención de 20 líneas en generación F6 (Cuadro 1).

Cuadro 1.

Genealogía de líneas de arveja arbustiva con gen afila evaluadas.

Genotipo	Genealogía	Padre Donante	Padre Recurrente
ARB 1	SIXD F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5)SI(F6P3)	Dove	San Isidro
ARB 2	SX3575,F1,SM(F2,F3,F4), SI (F5P1)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 3	SXD,F1RC1,SM(F2RC1,F3RC1,F4RC1),5I(F5RC1P2)	Dove	Sindamanoy
ARB 4	SIXD F1,SM(F2,F3,F4,F5)SI(F6P8)	Dove	San Isidro
ARB 5	SIXD, F1RC1 SI(F2RC1P51),SM(F3RC1,F4RC1) SI(F5RC1P3)	Dove	San Isidro
ARB 6	SX3575 F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5), SI(F6P6)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 7	SX3575, F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5), SI(F6P1)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 8	SX3575, F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5), SI(F6P7)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 9	SX3575, F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5,F6),SI (F7P4)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 10	SX3575,F1,SM(F2,F3,F4,F5)SI(F6P3)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 11	SX3575 F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5), SI(F6P5)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 12	SXD,F1RC1,SM(F2RC1),(F3RC1F4RC1),SI(F5RC1P45)	Dove	Sindamanoy
ARB 13	SX3575,F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5),SI(F6P2)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 14	SIXD F1RC1, SI(F2RC1P100), SM(F3RC1,F4RC1),SI(F5RC1P2)	Dove	San Isidro
ARB 15	SIXD,F1RC1,SM(F2RC1,F3RC1,F4RC1),SI(F5RC1P100)	Dove	San Isidro
ARB 16	SIXD,F1RC1,SM(F2RC1),SI(F3RC1P83),SI(F4RC1L83P1),SM(F5RC1)	Dove	San Isidro
ARB 17	SIXD, F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5)SI(F6P6)	Dove	San Isidro
ARB 18	SX3575,F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5)SI(F6P5)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 19	SX3575,F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5)SI(F6P4)	ILS3575	Sindamanoy
ARB 20	SIXD,F1,SM(F1,F2,F3,F4,F5)SI(F6P2)	Dove	San Isidro

3.4 Diseño experimental

Para la evaluación del comportamiento agronómico y los componentes de rendimiento, se utilizaron 20 líneas de arveja arbustiva afila que fueron evaluadas en cinco municipios cerealistas de Nariño identificados como Pasto, Yacuanquer, Tangua, Guaitarilla y Ospina (Anexo A). En cada localidad se estableció un diseño de bloques completos al azar con 20 tratamientos y cuatro repeticiones. **Unidad experimental:** correspondió a seis surcos de tres metros de largo, con distancias entre surcos de 0.5 metros y de 0.1 metros entre sitio para un área de 9 m², depositando una semilla por sitio. La parcela útil correspondió a los cuatro surcos centrales de la unidad experimental eliminando de ellos las plantas extremas de tal forma que el área útil de la parcela fue de 6 m². Dos de los surcos centrales del área útil se utilizaron para evaluación en vaina verde y en los otros dos surcos restantes se hizo la evaluación para grano seco. Por no existir variedades de arveja arbustiva usadas por el agricultor en la región, no se utilizó testigo comercial arbustivo y la valoración del comportamiento de las 20 líneas se efectuó por la comparación de promedios entre ellas.

3.5 Variables a evaluar

Componentes de rendimiento

Número de vainas por planta (NVP): cuando las vainas de las plantas alcanzaron su madurez de cosecha en verde, se contabilizó el número total de vainas en las plantas de los dos surcos de la parcela útil. También, se contó el número de plantas por parcela útil que llegan a cosecha. El número de vainas obtenido en cada parcela fue dividido entre el número de plantas cosechadas para obtener el promedio por planta.

En 15 vainas obtenidas al azar de la cosecha de la parcela útil, se tomaron las siguientes variables:

Peso de vaina con grano (PVCG): se pesó el total de las vainas en gramos y se dividió entre el número de las mismas para obtener el promedio.

Número de granos por vaina (NGV): las vainas fueron desgranadas y se contó el número total de granos obtenidos, para luego dividir entre el número de vainas y obtener el promedio por vaina.

Peso de grano por vaina (PGV): El total de granos obtenidos de las vainas fueron pesados en gramos y su resultado fue dividido entre el número de vainas para obtener el promedio.

Relación grano vaina (RGV): para obtener esta relación, el peso de los granos de las vainas se dividió entre el peso de las vainas con grano.

Rendimiento (RTO): los surcos de la parcela útil fueron cosechados cuando las plantas alcanzaron su maduración para cosecha en vaina verde. Dependiendo del genotipo fueron necesarios dos o tres pases de cosecha. El dato final obtenido por parcela se llevó a $t.ha^{-1}$.

Rendimiento en grano seco (RTOS): cuando las plantas alcanzaron el 75% de sus vainas en estado seco se realizó la cosecha, de dos surcos de la parcela útil. La producción obtenida por parcela, se llevó a invernadero para terminar su proceso de secamiento y realizar el desgrane respectivo. Cuando los granos alcanzaron el 14% de humedad, se realizó el peso por parcela y se proyectó a $t.ha^{-1}$.

Reacción a enfermedades *Ascochyta* (*Ascochyta pisi*) y Oidio (*Erysiphe pisi*)

La medición de la reacción de las líneas de arveja de crecimiento determinado a enfermedades se estableció en la cuarta repetición de los ensayos, para cada localidad. Este bloque no tuvo ninguna aplicación de fungicidas, permitiendo la presencia de inóculo natural. Las lecturas se realizaron tomando tres plantas en forma aleatoria de cada línea y de cada una de ellas se tomó la estipula basal, un zarcillo y una vaina al azar de la parte inferior, media y superior, la primera evaluación se llevó a cabo a inicio de floración, la segunda al inicio de llenado de vaina y la tercera en el momento de madurez fisiológica en verde. Se utilizaron las escalas de evaluación propuestas por Valencia et al. (2012) para *Ascochyta pisi*, y la escala propuesta por Checa y Rodríguez (2015) para *Erysiphe pisi*. (figura 1, figura 2).

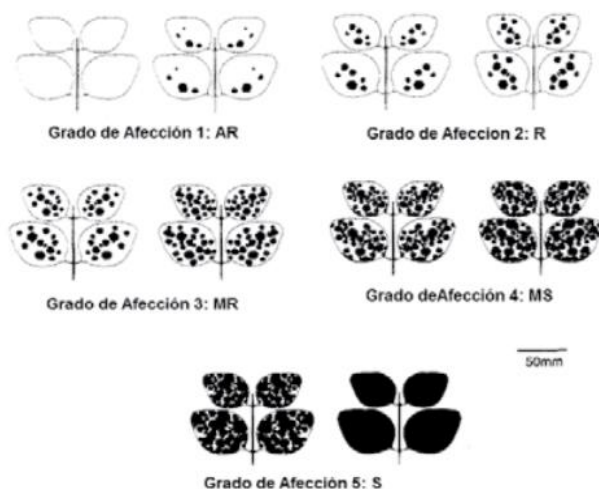


Figura 1. Escala de severidad para estimar daños causados por oidio (*Erysiphe pisi*) en arveja.

En donde 1= AR altamente resistente. Sin evidencia visible de la enfermedad o presencia de lesiones pequeñas del 1 al 10% del área foliar afectada, 2= R resistente. Del 11 al 25% del área foliar afectada, 3=MR moderadamente resistente. Del 26 al 50% del área foliar afectada, 4= MS moderadamente susceptible, 5= S susceptible.

moderadamente susceptible. Del 51 al 75% del área foliar afectada, 5= S susceptible. Del 76 al 100% del área foliar afectada

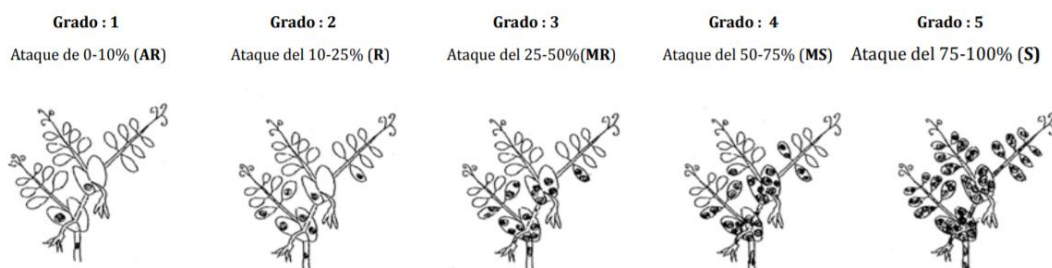


Figura 2. Escala de severidad para evaluación de *A. pisi*.

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; 4= Del 50 al 75% de tejido afectado; 5= Del 75 al 100 % de tejido afectado, Orbes y Becerra (1982).

Para el procesamiento de los datos observacionales en la medición de la severidad, se tomaron los valores máximos alcanzados por los genotipos en cada ambiente y posteriormente se establecieron valores máximos acumulados por los genotipos a través de las localidades.

3.6 Análisis estadístico

Los resultados de los diferentes componentes de rendimiento se sometieron a análisis de varianza combinado y prueba de comparación de promedios de Tukey mediante el uso del programa Infostat. El modelo estadístico para medir la interacción genotipo por ambiente, fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + (GA)_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Respuesta del i ésimo genotipo en el j ésimo ambiente

μ = media general

G_i = Efectos del i ésimo genotipo

A_j = efecto del j ésimo ambiente

$(GA)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i ésimo genotipo por j ésimo ambiente

E_{ij} = Error experimental de la observación ij

Los resultados de rendimiento en vaina verde se sometieron a la prueba de adaptabilidad y estabilidad fenotípica utilizando los modelos de regresión lineal propuesto por Eberhart y Russell (1996) y AMMI propuesto por Zobel et al. (1988)

El modelo estadístico de Eberhart y Russell es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} + E_{IJ}$$

Donde:

Y_{IJ} = promedio del genotipo i en el ambiente j .

μ_i = Promedio del genotipo i en todos los ambientes

β_i = Coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo i al variar los ambientes.

I_j = Índice ambiental del ambiente j -ésimo que se calcula como desviación del promedio de los genotipos en un ambiente dado a partir del promedio general.

δ_{ij} = Desviación de la regresión.

E_{ij} = Error experimental promedio

El modelo AMMI está representado en la siguiente ecuación:

$$y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n Y_{gn} \delta_{en} + \epsilon_{ger}$$

Donde:

y_{ger} : Rendimiento observado del genotipo g en el ambiente e para la repetición r.

Parámetros aditivos:

μ = Gran media

α_g = Desviación del genotipo g de la gran media

β_e = Desviación del ambiente e

Parámetros multiplicativos:

λ_n = Valor singular para el eje n del componente principal de interacción (CPI).

Y_{gn} = Eigenvector del genotipo g para el eje n.

δ_{en} = Eigenvector del ambiente e para el eje n.

El valor de estabilidad de AMMI (ASV) se calculó siguiendo la fórmula propuesta por Purchase et al. (2000) de la siguiente manera:

$$ASV = \sqrt{\left[\frac{SS_{PC1}}{SS_{PC2}} (PC_1) \right]^2 + (PC_2)^2}$$

Donde SS_{PC1}/SS_{PC2} es el peso dado al valor de PC_1 al dividir la suma de cuadrados de PC_1 por la suma de cuadrados de PC_2 . Cuanto mayor sea la puntuación de PC, ya sea negativa o positiva, más específicamente se adaptará un genotipo a ciertos entornos; ASV es la distancia

desde cero en dos dimensiones en el diagrama de dispersión de los valores de PC_1 frente a las puntuaciones de PC_2 . Las puntuaciones ASV más bajas indican un genotipo más estable en todos los entornos (Sharifi et al., 2019; Tena et al., 2019; Bocianowski et al., 2019a).

El índice de selección genotípico (GSI), se calculó para cada uno de los genotipos evaluados, incorporando el rendimiento y el valor de estabilidad de AMMI (ASV), en un solo criterio de la siguiente manera:

$$GSI_i = RY_i + RASV_i$$

Donde GSI_i es el índice de selección de genotipo para el i -ésimo genotipo, RY_i es la clasificación del rendimiento medio para el i -ésimo genotipo y $RASV_i$ es la clasificación por el valor de estabilidad AMMI para el i -ésimo genotipo (Farshadfar y Sutka, 2003; Bocianowski et al., 2019c), los genotipos con valores más próximos a cero se consideran como los de mayor estabilidad. El criterio de selección se realiza con base en los valores más bajos obtenidos en el GSI.

Los análisis de adaptabilidad y estabilidad se realizaron mediante el uso de los programas SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) y GENES versión windows (Cruz, 2006).

Para determinar las correlaciones genéticas entre los componentes de rendimiento, se consideraron 5 caracteres agronómicos: Número de vainas por planta (NVP), Peso de vaina con grano (PVCG), Número de granos por vaina (NGV), Peso de grano por vaina (PGV), Rendimiento (RTO). Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y prueba de

comparación de promedios de Tukey usando el programa GENES (Cruz, 2006). Posteriormente se aplicaron las fórmulas clásicas de correlación genética bajo el siguiente modelo:

$$rG_{(xy)} = COVG_{(xy)} / S_G x . S_G y$$

Donde: $rG_{(xy)}$ y $COVG_{(xy)}$, son las correlaciones y covarianza genética, entre los caracteres o variables x, y ; S_x y S_y corresponden a la desviación estándar genética de X y Y , posteriormente se determinó la significancia estadística de los coeficientes de correlación a través de la prueba de T, explicada mediante el siguiente modelo (Espitia et al., 2008):

$$T_c = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}$$

Se comparó la T calculada (T_c) con una T tabular (T_t), seleccionando un nivel de significancia de 0.05 con $(n-2)$ grados de libertad. La regla de decisión estuvo determinada teniendo en cuenta los valores observados, así: si $T_c \geq T_t$, entonces el valor de ρ es estadísticamente diferente de cero (Pantoja et al., 2014).

El análisis de sendero se realizó considerando al rendimiento (RTO) como variable dependiente (Y) y como variables independientes: NVP (X1), PVCG (X2), NGV (X3), PGV (X4), a partir de la matriz de correlaciones genotípicas, se procedió a la identificación de los efectos directos e indirectos que contribuyeron a dicha correlación.

Los coeficientes de correlación de las variables independientes (causa), con la variable dependiente (efecto), se descomponen en dos elementos; efecto directo (P_i) y efecto indirecto (E_i) lo cual permite, mediante el despeje de las siguientes ecuaciones, estimar los respectivos efectos indirectos de cada variable causa (E_i) (Espitia et al., 2008; Pantoja et al., 2014)

$$r_{X1Y} = P1 + E1: NVP$$

$$r_{x2y} = P2 + E2: \text{PVCG}$$

$$r_{x3y} = P3 + E3: \text{NGV}$$

$$r_{x4y} = P4 + E4: \text{PGV}$$

El coeficiente de sendero se estimó mediante la siguiente formula:

$$h = [1 - ((P_1 \cdot r_{x1y}) - (P_2 \cdot r_{x2y}) - (P_3 \cdot r_{x3y}) - (P_4 \cdot r_{x4y}))^{1/2}]$$

4. Resultados y Discusión

4.1 Análisis de Varianza

Los resultados observados en el análisis de varianza indican diferencias estadísticas para las fuentes de variación localidad, genotipo e interacción localidad por genotipo en las variables NVP, PVCG, NGV, PGV, RTO y RTOS, sugiriendo un comportamiento diferencial de los genotipos a través de los ambientes evaluados; mientras que la variable RGV no presentó significancia para la fuente de variación localidad, pero si para genotipo e interacción localidad por genotipo (Tabla 3).

Tabla 3.

Cuadrados medios de las variables componentes de rendimiento de 20 líneas de arveja arbustiva afila en cinco municipios de la zona cerealista de Nariño.

F. variación	GL	NVP	PVCG	NGV	PGV	RGV	RTO	RTOS
Modelo	114	130.15	7.47	2.70	1.99	0.02	204.75	10.01
Localidad	4	2912.03**	133.62**	16.15**	28.14**	0.09	4735.3**	217.12**
Bloq/Ex/ptos	15	99.97	8.04	2.22	2.64	0.05	93.21	5.52
Genotipo	19	29.35*	5.13**	8.64**	2.34**	0.04**	63.33**	3.82**
Local*Genot	76	14.89**	1.30**	0.60**	0.40**	0.01**	23.67**	1.54**
Error	285	2.28	0.27	0.21	0.07	0.0017	3.08	0.12
R ²		0.96	0.92	0.84	0.92	0.83	0.96	0.97
CV		11.33	8.14	9.02	7.85	7.74	13.39	10.46

*Significancia a nivel del 0.05 y **Significancia a nivel del 0.01.

4.2 Número de vainas por planta (NVP).

En las localidades Guaitarilla, Ospina, Tangua, Yacuanquer y Pasto los promedios para la variable NVP oscilaron entre 11.12 y 17.45; 5.35 y 10.34; 14.78 y 23.53; 5.01 y 12.07 y 14.27 y 25.67 respectivamente, encontrándose diferencias estadísticas para la variable en mención en todas las localidades (Tabla 4).

En el ambiente Guaitarilla el promedio para la variable número de vainas por planta estuvo en un rango entre 11.12 y 17.45, la línea ARB2 con 17.45 vainas por planta, superó al 80% de las líneas evaluadas, las cuales presentaron promedios entre 11.12 y 13.79. El genotipo ARB12 con 15.59, superó estadísticamente al 45 % de las líneas evaluadas cuyos promedios oscilaron entre 11.12 y 12.04 vainas por planta.

En la localidad de Ospina la línea ARB19 con 10.34 vainas por planta superó al 70% de los genotipos evaluados, que presentaron entre 5.35 y 7.95 vainas por planta. La línea ARB20 con 5.35 vainas por planta fue superada estadísticamente por el 50% de los genotipos evaluados.

En Yacuanquer, el genotipo ARB2 con un promedio de 12.07 vainas por planta fue superior al 80% de las líneas evaluadas, que estuvieron entre 5.01 y 8.47 NVP. Los genotipos ARB10, ARB4 y ARB6 con promedios entre 9.39 y 10.60 superaron a las líneas ARB7, ARB17, ARB8, ARB13, ARB18, ARB19 y ARB1 que oscilaron entre 5.01 y 6.29, siendo estos los valores más bajos para la variable en mención.

Para la localidad de Tangua las líneas ARB19, ARB11 y ARB2 con promedios entre 22.14 y 22.53 NVP, superaron al 25% de las líneas evaluadas cuyos promedios oscilaron entre 13.53 y 16.81 vainas por planta.

En el ambiente Pasto, el genotipo ARB6 con un promedio de 25.67 superó estadísticamente al 60 % de las líneas evaluadas. Las líneas ARB10 y ARB11 con promedios de 23.01 y 22.86 NVP, superaron a ARB9, ARB5 y ARB20 cuyos promedios oscilaron entre 14.27 y 17.05 vainas por planta (Tabla 4).

Tabla 4.

Comparación de promedios para la variable número de vainas por planta para 20 líneas de arveja arbustiva (P. sativum L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño

Genotipo	Guaitarilla	Ospina	Yacuanquer	Tangua	Pasto
ARB 1	11.12c	6.75efgh	5.01g	13.53e	20.45abcd
ARB 2	17.45a	7.93bcdefg	12.07a	22.14a	20.26abcd
ARB 3	13.79bc	9.51abc	6.84defg	21.64ab	19.90bcd
ARB 4	11.18c	6.82defgh	10.02abc	19.51abcd	18.71bcde
ARB 5	13.36bc	5.61gh	6.67defg	14.96de	16.41de
ARB 6	14.33abc	6.86defgh	9.39abcd	15.28de	25.67a
ARB 7	11.49c	10.02ab	6.29efg	19.63abcd	19.83bcd
ARB 8	11.44c	7.77bcdefg	5.66fg	17.66abcde	19.13bcde
ARB 9	11.98c	5.85fgh	8.12bcde	21.21ab	17.05cde
ARB 10	11.45c	9.06abcd	10.60ab	18.11abcde	23.01ab
ARB 11	11.67c	7.70cdefg	7.11defg	22.53a	22.86ab
ARB 12	15.59ab	5.91fgh	6.96defg	16.81bcde	19.35bcde
ARB 13	13.99bc	7.95bcdef	5.59fg	19.77abcd	20.93abcd
ARB 14	13.69bc	6.68efgh	7.72cdefg	17.79abcde	22.32abc
ARB 15	13.18bc	8.35abcde	5.46cdefg	18.67abcd	22.28abc
ARB 16	12.20bc	7.41cdefgh	8.47bcde	20.67abc	18.43bcde
ARB 17	12.39bc	5.75fgh	5.81efg	22.44ab	19.51bcde
ARB 18	14.28abc	8.53abcde	5.46fg	19.76abcd	19.15bcde
ARB 19	12.04c	10.34a	5.21g	23.53a	19.68bcde
ARB 20	11.17c	5.35h	7.07defg	15.74cde	14.27e
Media	12.89	7.51	7.28	19.07	19.96
Comparador Tukey $p<0.05$	3.52	2.26	2.79	4.99	5.56

Los promedios para la variable NVP en los ambientes de Guaitarilla, Tangua y Pasto se encuentran en el rango observado por Checa y Colaboradores (2020a); Ruano (2019); Casanova et al. (2012); Pacheco et al. (2011) y González y Ligarreto (2006) quienes reportaron entre 12 y 20.25 vainas por planta, concordando con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Los ambientes de Ospina y Yacuanquer presentaron los promedios más bajos para la variable NVP con valores de 7.51 y 7.28, similares a los encontrados por Siddique y colaboradores (2002) quienes reportaron promedios de 6.8 en materiales arbustivos.

El NVP es una variable influenciada por la constitución genética de las flores y la fisiología de los componentes florales masculinos y femeninos, ambos son altamente sensibles al estrés ambiental (Jiang et al., 2015; Sun et al., 2004). La reducción en el número de vainas y el rendimiento se puede asociar no solo al genotipo, sino también al aborto inducido por el estrés tipo ambiental de los brotes, flores y vainas (Guilioni et al., 1997; Jeuffroy et al., 1990). La heterogeniedad de las condiciones de suelo a través de los ambientes pudo afectar en gran medida la expresión fenotípica del NVP. Los suelos de la zona cerealista del Nariño se caracterizan por su deterioro y baja fertilidad tras haber sufrido procesos de labranza excesiva, ocasionando su detrimento a nivel físico, biológico y químico (Checa, 1997). Los sitios de experimentación en los municipios de Yacuanquer y Ospina presentaban características a nivel de compactación y degradación de suelo, lo cual pudo ocasionar divergencias entre los promedios para la variable NVP, alcanzados por los genotipos en estos entornos de evaluación.

La estimación del comportamiento de los genotipos en diferentes entornos o ambientes es muy importante para las selecciones de los fitomejoradores que están interesados en recomendar materiales para condiciones de cultivo conocidas (Ceyhan et al., 2012). El NVP en arveja depende del genotipo y las condiciones ambientales. en este sentido los resultados demuestran que el medio ambiente tuvo un gran impacto para la variable NVP en los genotipos de arveja evaluados, debido a la influencia de factores ambientales externos que controlan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Al respecto Hebblethwaite y colaboradores (2013) mencionan que, en arveja los caracteres medibles como el NVP son de herencia cuantitativa donde un gran número de genes contribuyen

a su expresión fenotípica. Además, el componente ambiental tiene un efecto relativamente grande en comparación con el componente genético correspondiente, de tal manera que este carácter es altamente influenciado por el ambiente.

4.3 Peso de vaina con grano (PVCG).

En la localidad de Guitarrilla los promedios fluctuaron entre 4.83 y 8.10. La línea ARB18 con un promedio de 8.10, superó al 70% de las líneas evaluadas cuyos promedios oscilaron entre 4.83 y 7.22 gramos, la línea ARB15 con 7.98 gramos fue similar a ARB18, ARB 8, ARB11, ARB13, ARB16, ARB7, ARB14, ARB9, ARB12 y ARB5 con promedios entre 7.12 y 7.98 gramos por vaina, estos genotipos superaron a las líneas ARB4, ARB17 y ARB 20 que obtuvieron entre 4.83 y 5.77 gramos por vaina. El 60% de las líneas evaluadas presentaron promedios estadísticamente similares (Tabla 5).

En el ambiente Ospina los promedios oscilaron entre 4.02 y 7.13. La línea ARB13 con 7.13 gramos, presentó mayor PVCG respecto a ARB20 y ARB17 que presentaron promedios de 4.02 y 4.17 gramos respectivamente. El 90% de las líneas evaluadas mostraron similitud en el peso de vaina con grano, oscilando entre 4.77 y 6.75 gramos por vaina (Tabla 5).

En Yacuanquer el rango de promedios para la variable PVCG se encontró entre 2.99 y 5.69. Las líneas ARB10, ARB11 y ARB13 con promedios de 5.69, 5.44 y gramos, superaron a ARB6, ARB8, ARB14, ARB17, ARB18 y ARB20 con promedios entre 2.99 y 3.77 gramos. El 70% de los genotipos evaluados tuvieron promedios similares presentando valores entre 3.52 y 5.03 gramos por vaina (Tabla 5).

En la localidad de Tangua los promedios para la variable peso de vaina con grano fluctuaron entre 5.98 y 8.62 gramos. La línea ARB16 con 8.62, presentó diferencias estadísticas, frente al

80% de las líneas evaluadas, que alcanzaron promedios entre 5.98 y 7.59 gramos por vaina (Tabla 5).

En el ambiente Pasto los genotipos ARB13, ARB11, ARB16 y ARB14 con valores entre 8.23 y 8.35 gramos, superaron estadísticamente a los genotipos ARB2, ARB20, ARB18, ARB15 y ARB4, que oscilaron entre 6.58 y 7.14 gramos por vaina. El 75% de las líneas evaluadas presentaron promedios estadísticamente similares (Tabla 5).

Tabla 5.

Comparación de promedios para la variable peso de vaina con grano para 20 líneas de arveja arbustiva (P. sativum L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño

Genotipo	Guaitarilla	Ospina	Yacuanquer	Tangua	Pasto
ARB 1	6.42fg	5.87 abc	4.37 abcd	6.22 hi	7.53 abcde
ARB 2	6.83def	5.78 abc	4.83 ab	6.74 fghi	7.14 bcde
ARB 3	6.52efg	5.13 abc	5.00 ab	7.00 defgh	7.53 abcde
ARB 4	4.83h	5.02 ab	4.92 ab	5.98 i	6.58 e
ARB 5	7.12bcdef	5.98 abc	4.47 abcd	7.58 bcde	7.95 abc
ARB 6	6.90def	5.97 abc	3.12 cd	7.07 cdefg	8.02 ab
ARB 7	7.22bcdef	6.48 ab	4.93 ab	7.40 bcdef	7.97 abc
ARB 8	7.80abc	6.27 ab	3.55 bcd	6.97 defgh	7.93 abcd
ARB 9	7.19bcdef	5.57 abc	5.03 ab	7.30 bcdef	7.80 abcd
ARB 10	7.02cdef	5.72 abc	5.69 a	8.13ab	7.90 abcd
ARB 11	7.52abcd	5.67 abc	5.44 a	7.17 cdef	8.35 a
ARB 12	7.13bcdef	5.87 abc	4.67 abc	7.88 abc	7.43 abcde
ARB 13	7.45abcd	7.13 a	5.57 a	6.98 defgh	8.35 a
ARB 14	7.20bcdef	5.77 abc	2.99 d	7.59 bcde	8.23 a
ARB 15	7.98ab	6.75 ab	4.28 abcd	7.78 abcd	6.60 e
ARB 16	7.37abcde	6.04 abc	4.90 ab	8.62 a	8.32 a
ARB 17	5.77g	4.77 bc	3.77 bcd	6.12 i	7.45 abcde
ARB 18	8.10a	5.49 abc	3.52 bcd	6.82 efghi	6.88 de
ARB 19	6.90def	5.87 abc	4.25 abcd	7.55 bcdef	7.42 abcde
ARB 20	5.73g	4.02 c	3.15 cd	6.28 ghi	6.92 cde
Media	6.95	5.76	4.42	7.16	7.61
Comparador	0.87	2.02	1.63	0.84	1.06
Tukey					
p<0.05					

En los ambientes evaluados el rango para los promedios de peso de vaina con grano fluctuó entre 4.42 y 7.16, hallazgos similares fueron reportados por Rosero (2021) quien menciona promedios entre 5.53 y 6.02 para PVCG en genotipos arbustivos, evaluados en municipios de la zona cerealista de Nariño. Por su parte Pantoja et al. (2014) confirmaron valores promedio entre 8.04 y 8.77 cuyos datos igualaron estadísticamente a las variedades comerciales no afila Andina y Sindamanoy. Al respecto Valencia y Timaná (2013) y Herrera (2020), obtuvieron valores similares para esta variable al compararlas con variedades de hoja convencional.

Teniendo en cuenta lo anterior, en las variedades afila la disminución en cuanto a área foliar no conlleva a una reducción en caracteres reproductivos como la floración, ni la capacidad de producción de vainas, de tal manera que existen materiales con la característica afila en su estructura aérea, que logran alcanzar los mismos rendimientos e incluso superar a las variedades con arquitectura convencional, debido a que los procesos fotosintéticos se realizan no solo en la estipula sino también en los zarcillos y tallos juveniles (Riascos et al., 2018).

Las líneas evaluadas, indican diferencias estadísticas entre sí para cada ambiente. Según Patiño et al. (1997) el peso de vaina con grano, está en función del tamaño, peso, número y madurez de sus granos. Estos factores en conjunto logran influenciar la expresión o comportamiento de los genotipos (Riascos et al., 2018).

Las líneas arbustivas afila evaluadas en este estudio, se caracterizan por poseer estipulas grandes. Según lo reportado por Sharma y Kumar (2012) en materiales afila las estipulas son las responsables en mayor proporción de la efectividad fotosintética y a su vez maximizan la acumulación de biomasa a las vainas, existiendo un efecto fuente vertedero a través del cual se

distribuyen los fotoasimilados y los compuestos carbonados (Chang et al., 2017). Por lo anterior podemos deducir que el peso de las vainas en materiales arbustivos estuvo favorecido por el efecto fuente vertedero (estipula-vaina).

El peso de vaina con grano es un rasgo de herencia cuantitativa por lo tanto su variación fenotípica es el resultado de la participación de múltiples genes (Fierro, 2012). La variación observada para esta variable puede estar influenciada, no solo por el ambiente sino también por la procedencia genética de las líneas. Con base en la genealogía de las líneas evaluadas, los parentales comerciales (Sindamanoy y San Isidro), pudieron contribuir de manera positiva al peso de las vainas en algunas líneas evaluadas, mientras que las líneas que presentaron promedios bajos para esta variable, recibieron mayor influencia genética de los parentales Dove e ILS3575. Estos materiales se caracterizan por el tamaño pequeño de sus vainas (Riascos et al., 2018).

En general para el PVCG se destacaron las líneas ARB10, ARB13 y ARB16 en los cinco ambientes evaluados. Es importante tener en cuenta que el peso de vaina con grano es una de las características comerciales más representativas en el mercado nacional (Checa et al., 2017), este rasgo, se asocia con mayor número de granos por vaina o con granos de un tamaño más grande (Pantoja et al., 2014). De acuerdo Hallauer et al. (2010), es necesario el reconocimiento de genotipos sobresalientes para rendimiento y sus componentes, que a su vez puedan tener adaptación general, es decir un buen comportamiento en un rango amplio de ambientes; aunque también es válido encontrar genotipos con adaptación específica y seleccionarlos para un ambiente en particular.

4.4 Número de granos por vaina (NGV).

En el ambiente Guaitarilla los promedios para esta variable oscilaron entre 3.75 y 6.50. El 35% de los genotipos evaluados obtuvieron promedios estadísticamente similares. La línea ARB15 con

promedio de 6.50 presenta diferencias estadísticas con respecto a un grupo de 13 líneas (ARB1, ARB2, ARB4, ARB7, ARB8, ARB9 ARB10, ARB11, ARB13, ARB17 ARB18, ARB19 ARB20) que corresponden al 65% de los genotipos evaluados, los cuales alcanzaron promedios que fluctuaron entre 3.75 a 5 granos por vaina. (Tabla 6).

En Ospina los promedios para NGV fluctuaron entre 4 y 6.25. Se observó uniformidad sin diferencias estadísticas en el 65% de los genotipos evaluados, que oscilaron entre 4.75 y 6.25. La línea ARB15 con un promedio de 6.25 mostró mayor número de granos por vaina, que las líneas ARB11, ARB7, ARB4, ARB20, ARB17, ARB10 y ARB9, las cuales presentaron entre 4 y 4.5 granos por vaina (Tabla 6).

En la localidad de Yacuanquer los promedios fluctuaron entre 3.60 y 5.45. Sobresalen las líneas ARB16 y ARB3 con 5.45 y 5.43 granos por vaina respectivamente, superando al 70% de los genotipos evaluados, los cuales presentaron promedios entre 3.60 y 4.44 granos por vaina (Tabla 6).

En Tangua los promedios estuvieron entre 4.20 y 6.63. Las líneas ARB5, ARB16, ARB15, ARB6, ARB12, ARB3, ARB14 y ARB2 con promedios entre 6.00 y 6.63 número de granos por vaina, presentaron valores estadísticamente similares entre sí, y a su vez mostraron diferencias significativas frente al 60% de las líneas evaluadas que oscilaron entre 4.20 y 4.98 granos por vaina (Tabla 6).

En el ambiente de Pasto el NGV presentó valores entre 4.50 y 7.00. Los genotipos ARB5 y ARB16 con promedios de 7.00 granos por vaina, superaron al 65% de las líneas estudiadas, las cuales variaron entre 4.50 y 5.75 granos por vaina. El 35% de los genotipos evaluados (ARB5, ARB16, ABR15, ARB6, ARB14, ARB12, ARB3) no tuvieron diferencias estadísticas entre sí.

Tabla 6.

Comparación de promedios para la variable número de granos por vaina para 20 líneas de arveja arbustiva (P. sativum L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño

Genotipo	Guaitarilla	Ospina	Yacuanquer	Tangua	Pasto
ARB 1	4.00e	4.75abcd	3.80e	4.25b	5.75bcde
ARB 2	5.00bcd	5.25abcd	4.90abc	6.0a	5.50bcdef
ARB 3	6.00ab	5.50abcd	5.43a	6.1a	6.00acbd
ARB 4	3.75e	4.50bcd	4.43bcde	4.75b	5.25cdef
ARB 5	5.75abc	6.00ab	4.65abcd	6.63a	7.00a
ARB 6	5.75abc	5.75abc	3.60e	6.35a	6.50ab
ARB 7	4.75cde	4.50bcd	4.44bcde	4.73b	5.00def
ARB 8	5.00bcd	4.75abcd	4.07cde	4.20b	5.00def
ARB 9	4.75cde	4.00d	3.75e	4.75b	4.75ef
ARB 10	4.50de	4.00d	4.12cde	4.50b	4.50f
ARB 11	4.75cde	4.50bcd	4.28cde	4.68b	5.00def
ARB 12	6.00ab	5.75abc	5.18ab	6.23a	6.25abc
ARB 13	4.75cde	4.75abcd	4.27cde	4.55b	5.25cdef
ARB 14	6.00ab	5.75abc	4.10bcd	6.08a	6.25abc
ARB 15	6.50a	6.25a	4.75abc	6.48a	6.50ab
ARB 16	6.25a	5.50abcd	5.45a	6.58a	7.00a
ARB 17	4.50de	4.25cd	4.43bcde	4.98b	5.00def
ARB 18	5.00bcd	4.75abcd	3.85de	4.43b	4.75ef
ARB 19	4.50de	4.75abcd	3.75e	4.88b	4.75ef
ARB 20	4.75cde	4.50bcd	3.82de	4.98b	5.00def
Media	5.11	5.10	4.35	5.31	5.55
Comparador Tukey $p<0.05$	1.14	1.72	0.84	0.85	1.23

En el cultivo de arveja uno de los principales aspectos a considerar en los programas de mejoramiento es la evaluación respecto al número de granos por vaina, como uno de los temas estratégicos para garantizar la selección de genotipos o variedades confiables que indiquen superioridad dentro de los rangos característicos evaluados de cada línea (Mihailović et al., 2007).

Ligarreto y Ospina (2009) afirman que, para el caso particular de Colombia la variable número de granos por vaina es uno de los componentes más relevantes en el mejoramiento genético de la arveja, debido a que la demanda nacional está direccionada para la producción en vaina verde, donde es imprescindible contar con un alto valor para la variable en mención.

El número de granos por vaina es una variable cuya expresión influenciada en gran medida por la composición genética del material, puede variar de 1 a 13 granos por vaina, indicando que la heredabilidad del carácter es un aspecto complejo controlado por varios genes (Pesic et al., 2013). De acuerdo Biddle et al. (1988) esta variable se clasifica de la siguiente forma: categoría baja de 3 a 4 granos por vaina, categoría media: de 5 a 6 y categoría alta de 7 a 12.

En el cultivo de arveja lo deseable es alcanzar un número igual o superior a 6 granos por vaina, en este sentido se debe tener en cuenta que el mejoramiento de este rasgo, implica dificultad desde el punto de vista genético debido a los diferentes mecanismos de compensación en los componentes de rendimiento, donde al buscar un número de granos mayor se puede alterar el número de vainas, o el peso de grano (Tiemerman et al., 2004).

Teniendo en cuenta lo anterior, en la presente investigación, el NGV para las líneas ARB3, ARB5, ARB12, ARB15 y ARB16 se ubicó entre medio y alto, con valores entre 5 y 7, siendo esta una característica aceptada en el mercado nacional. Resultados similares fueron obtenidos por Mera y colaboradores (1996), Checa y Rodríguez (2015) y Herrera (2020), con promedios entre 4 y 5, 4.22 y 6.95, 5.48 y 6.84 NGV en evaluaciones con cultivares de arveja tipo afila.

Pantoja y colaboradores (2014), afirman que, genotipos promisorios para el carácter número de granos por vaina, presentaron promedios estadísticamente similares a las variedades comerciales Andina y Sindamanoy, lo cual sugiere que existe independencia entre los genes que gobiernan la

expresión de la variable NGV y del carácter afila, por lo tanto, la modificación de la arquitectura de la planta no limita, ni incrementa el promedio de número de granos por vaina.

4.5 Peso de granos por vaina (PGV).

En el ambiente Guaitarilla un grupo de cuatro líneas (ARB15, ARB12, ARB14 y ARB16), con promedios entre 3.90 y 4.32 g superaron estadísticamente a las líneas ARB20, ARB10, ARB19. ARB1, ARB17 y ARB4 con promedios que oscilaron entre 2.52 y 3.25 g. El 50% de los genotipos evaluados, presentaron un comportamiento intermedio entre 3.37 y 3.73 g (Tabla 7).

En la localidad de Ospina, el peso de granos por vaina fluctuó entre 2.37 y 3.84 g. La línea ARB15 con 3.84 g presentó diferencias significativas respecto a un grupo de 16 líneas, que corresponden al 80% de los materiales evaluados. Las líneas ARB1, ARB6, ARB16, ARB12, ARB14 y ARB15 que oscilaron entre 3.13 y 3.84 g, superaron a ARB20, ARB11, ARB10, ARB17 y ARB9 que mostraron promedios más bajos entre 2.37 y 2.45 (Tabla 7).

En Yacuanquer, el peso de granos por vaina fluctuó entre 1.83 y 3.55 g. La línea ARB2 obtuvo un promedio de 3.35 g superando a ARB5, ARB17, ARB8, ARB18, ARB6, ARB20 y ARB14 que presentaron entre 1.83 y 2.35 g. El 65% de las líneas evaluadas mostraron resultados estadísticamente similares (Tabla 7).

En Tangua, el peso de granos por vaina se ubicó entre 2.92 y 4.55 g. Sobresalen las líneas ARB16, ARB12, ARB15 y ARB5 con valores entre 4.30 y 4.55 g, superando al 60% de los materiales evaluados (Tabla 7).

En Pasto el peso de granos por vaina estuvo entre 3.37 y 4.75 gramos. El genotipo ARB16 con 4.75 gramos, presentó diferencias estadísticas frente a 13 líneas, que mostraron promedios entre 3.37 y 4.07 gramos. Las líneas ARB16, ABR15, ARB12. ARB14, ARB5, ARB2 y ARB6 con

promedios entre 4.10 y 4.75 presentaron los valores altos para la variable en mención, diferenciándose estadísticamente de ARB8 y ARB19 (Tabla 7).

Tabla 7.

Comparación de promedios para la variable Peso de grano por vaina para 20 líneas de arveja arbustiva (P. sativum L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño

Genotipo	Guaitarilla	Ospina	Yacuanquer	Tangua	Pasto
ARB 1	2.95efg	3.13bc	2.63abcde	2.92 e	4.07bcdef
ARB 2	3.42cde	2.73bcd	3.35a	3.77abcde	4.10abcde
ARB 3	3.59bcd	2.95bcd	3.08ab	3.87abcd	4.00cdefg
ARB 4	2.52g	2.47d	2.75abcde	3.08de	3.92defg
ARB 5	3.37cde	2.92bcd	2.35bcde	4.33ab	4.52abcd
ARB 6	3.55bcd	3.15b	2.03cde	3.37abcde	4.10abcde
ARB 7	3.55bcd	2.90bcd	2.83abcd	3.38de	3.77efg
ARB 8	3.58bcd	2.85bcd	2.18bcde	3.12de	3.43fg
ARB 9	3.47cde	2.37d	2.48abcde	3.42de	3.72efg
ARB 10	3.23def	2.40d	2.63abcde	3.27de	3.70efg
ARB 11	3.57bcd	2.42d	2.48abcde	3.47cde	3.92defg
ARB 12	4.30 ^a	3.27ab	2.90abc	4.53 a	4.65abc
ARB 13	3.68bcd	3.02bcd	2.88abcd	3.37de	3.92defg
ARB 14	4.07ab	3.28ab	1.83e	4.30abc	4.57abcd
ARB 15	4.32a	3.84a	2.60abcde	4.77a	4.70ab
ARB 16	3.90abc	3.22ab	3.05ab	4.55 a	4.75a
ARB 17	2.70fg	2.38d	2.35bcde	3.25de	3.64efg
ARB 18	3.73bcd	2.80bcd	2.13bcde	3.45cde	3.60efg
ARB 19	3.23def	2.90bcd	2.40abcde	3.52bcde	3.37g
ARB 20	3.25de	2.45d	1.90de	3.22de	3.48efg
Media	3.50	2.87	2.54	3.65	4.00
Comparador Tukey $p<0.05$	0.53	0.66	0.98	0.46	0.65

En general, las líneas ARB12, ARB15 y ARB16 valores altos, con promedios que sobresalen estadísticamente en todas las localidades evaluadas. Lo anterior, puede resultar de la acumulación de alelos favorables para este carácter, presentes en los progenitores (Riascos et al., 2018).

Los genotipos mencionados anteriormente indican superioridad para el peso de grano por vaina en las cinco localidades, esto sugiere que la expresión del carácter, puede no tener una influencia amplia en relación al ambiente (Muñoz, 2012), lo cual puede ser favorable en los programas de mejoramiento genético para los materiales evaluados en el presente estudio. Singh y colaboradores (2011), mencionan que el peso de grano es un factor con orientación a tener alta heredabilidad, esta característica permite que el comportamiento de genotipos a través de los ambientes sea similar. Amin et al. (2010) plantean que el peso de grano, se encuentra entre los caracteres poligénicos, sin embargo, es altamente heredable, con un comportamiento genético de tipo aditivo.

4.6 Relación grano vaina (RGV).

En el ambiente Guaitarilla los promedios obtenidos para la variable relación grano vaina oscilaron entre 0.46 y 0.61. Se destacan ARB12, ARB14, ARB20, ARB3 y ARB15 las cuales presentaron promedios entre 0.54 y 0.61 diferenciándose estadísticamente de ARB17, ARB8, ARB18, ARB1 y ARB10 cuyos promedios fueron los más bajos con valores entre 0.46 y 0.47. El 50 % de las líneas evaluadas tuvieron un comportamiento intermedio con valores desde 0.47 a 0.53 (Tabla 8).

En la localidad de Ospina los promedios fluctuaron entre 0.43 y 0.61. El genotipo ARB20 con un valor de 0.61 mostró diferencias significativas frente a un grupo de cinco líneas (ARB7, ARB9, ARB11, ARB13 y ARB10), que presentaron promedios entre 0.43 y 0.45. El 75% de los materiales evaluados no presentaron diferencias significativas entre sí (Tabla 8).

En Yacuanquer, los promedios obtenidos para relación grano vaina estuvieron entre 0.46 y 0.68, destacándose el genotipo ARB2 con un promedio de 0.68, frente a cinco genotipos (ARB5,

ARB13, ARB9 ARB10 y ARB11) los cuales evidenciaron los promedios entre 0.46 y 0.53 y representaron al 25% de los materiales evaluados.

En el ambiente Tangua la variable relación grano vaina presentó promedios que fluctuaron entre 0.40 y 0.58. El genotipo ARB15 cuyo promedio fue de 0.58, mostró diferencias significativas frente a 10 líneas (ARB20, ARB18, ARB11, ARB13, ARB1, ARB9, ARB19, ARB7, ARB8 y ARB10), las cuales representan el 50% de los materiales evaluados y cuyos promedios indicaron valores entre 0.40 y 0.52 (Tabla 8).

En Pasto los promedios oscilaron entre 0.40 y 0.60. El genotipo ARB14 indicó diferencias significativas frente al 70% de los genotipos estudiados. Las líneas ARB12, ARB2, ARB17, ARB15 y ARB5 con promedios entre 0.57 y 0.60, conforman un grupo que obtuvo diferencias respecto a las líneas ARB9, ARB10, ARB13, ABR11, ARB7, ARB19, ARB18 y ARB8 con promedios bajos entre 0.40 y 0.50 (Tabla 8).

Tabla 8.

Comparación de promedios para la variable Relación grano vaina para 20 líneas de arveja arbustiva (P. sativum L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño

Genotipo	Guaitarilla	Ospina	Yacuanquer	Tangua	Pasto
ARB 1	0.46fg	0.53abc	0.62abc	0.47efgh	0.55bc
ARB 2	0.50cdefg	0.47abc	0.68a	0.56abc	0.60ab
ARB 3	0.55abcd	0.57abc	0.62abc	0.55abc	0.53cd
ARB 4	0.53bcdefg	0.50abc	0.56abcd	0.52abcdefg	0.54cd
ARB 5	0.48efg	0.49abc	0.53bcd	0.57abc	0.57abc
ARB 6	0.52bcdefg	0.53abc	0.65ab	0.53abcdef	0.56bc
ARB 7	0.47defg	0.45bc	0.58abcd	0.46ghi	0.47ef
ARB 8	0.46fg	0.46abc	0.63abc	0.45hi	0.40g
ARB 9	0.48defg	0.44bc	0.49cd	0.47fgh	0.50de
ARB 10	0.46g	0.43c	0.46d	0.40i	0.49e
ARB 11	0.47efg	0.43c	0.46d	0.49defgh	0.48ef
ARB 12	0.61a	0.56abc	0.63abc	0.58 ab	0.60ab
ARB 13	0.50defg	0.43c	0.52bcd	0.48efgh	0.48ef
ARB 14	0.57ab	0.58abc	0.63abc	0.57abc	0.60a
ARB 15	0.54abcde	0.58abc	0.60abcd	0.58 a	0.55c
ARB 16	0.53bcdef	0.53abc	0.62abc	0.53abcde	0.58abc
ARB 17	0.47fg	0.50abc	0.63abc	0.54abcd	0.59ab
ARB 18	0.46fg	0.60ab	0.61abc	0.51cdefg	0.44fg
ARB 19	0.48efg	0.50abc	0.57abcd	0.46ghi	0.46fg
ARB 20	0.57abc	0.61a	0.61abcd	0.52bcdefg	0.54c
Media	0.51	0.51	0.59	0.51	0.53
Comparador	0.06	0.15	0.14	0.06	0.04
Tukey					
$p < 0.05$					

Herrera (2020) menciona que la variable RGV es de gran interés para el mercado en fresco, indicando si el peso de las vainas se debe más al peso de los granos o en su defecto al peso de la estructura de la vaina sin granos. Con la selección para este rasgo, se busca que haya un mayor peso de los granos en relación a la estructura que conforman las vainas, aumentando de esta manera

la proporción del efecto vertedero hacia los granos y convirtiéndose en un producto atractivo a nivel comercial (Riascos et al., 2018).

A nivel nacional el interés está centrado en la búsqueda de variedades con una alta RGV (Checa y Rodríguez 2015; Riascos et al., 2018; Herrera, 2020). Los resultados observados indican que el 64% de los datos obtenidos presentan una relación que se encuentra por encima de 0.5, esto sugiere que el rendimiento en fresco en la mayor parte de las líneas evaluadas está condicionado más por el peso de los granos que por el peso de las vainas.

Teniendo en cuenta lo anterior, al presentar valores superiores al 0.5, se podría garantizar la aceptación del producto en el mercado de arveja en vaina, cumpliendo con la condición de que el aporte al peso final del producto en verde sea contribuido por el peso de los granos.

La RGV resulta en un indicador que aporta en la definición del precio del producto en el mercado (Checa y Rodríguez, 2015). Además, esta variable está asociada directamente al consumo útil de esta especie, que corresponde en su totalidad a los granos. Valores altos para la variable en mención favorece la industrialización de la especie (Hargous, 2001).

4.7 Rendimiento verde (RTO)

En el municipio de Guaitarilla la línea ARB2 con rendimiento de 24.67 t.ha⁻¹ superó al 65% de las líneas evaluadas que corresponden a ARB3, ARB14, ARB13, ARB6, ARB5, ARB9, ARB11, ARB7, ARB8, ARB17, ARB1, ARB4 y ARB20 con promedios entre 11.10 y 18.13 t. ha⁻¹. De igual manera, ARB15 superó al 35% de las líneas que corresponden a las de promedios bajos que oscilaron entre 11.10 y 15.70 t. ha⁻¹ (Tabla 9).

En Ospina, los promedios de rendimiento fluctuaron entre 3.22 y 10.04 t. ha⁻¹. Sobresalen las líneas ARB7, ARB15, ARB10, ARB19, ARB16, ARB13, ARB14, con promedios entre 7.80 y

10.04 t.ha⁻¹, superando al 35% de las líneas evaluadas (ARB6, ARB12, ARB17, ARB1, ARB18, ARB5 y ARB20) con rendimientos entre 3.22 y 5.20 t.ha⁻¹ (Tabla 9).

En el ambiente Yacuanquer los rendimientos fueron los más bajos de todas las localidades, con un rango entre 0.81 y 7.84 t.ha⁻¹. Los genotipos ARB16 y ARB2 con 7.84 y 6.39 t.ha⁻¹ respectivamente, presentaron diferencias significativas frente al resto de materiales evaluados que representan al 90% de la totalidad de las líneas y cuyos promedios oscilaron entre 0.81 y 5 t.ha⁻¹ (Tabla 9).

En la localidad de Tangua, los promedios obtenidos para rendimiento oscilaron entre 10.65 y 23.91 t.ha⁻¹. Un grupo de 6 líneas identificadas como ARB16, ARB13, ARB7, ARB19, ARB18 y ARB3 con promedios entre 20.05 y 23.91 t.ha⁻¹ superaron estadísticamente los rendimientos obtenidos por los genotipos: ARB8, ARB14, ARB6, ARB20, ARB4, ARB5 y ARB1 cuyos promedios fluctuaron entre 10.65 y 15.42, que fueron relativamente bajos para esta localidad. El resto de los genotipos mostraron promedios intermedios con valores entre 15.63 y 19.17 t.ha⁻¹ (Tabla 9).

En el ambiente Pasto, el rendimiento estuvo entre 15.09 y 26.15 t.ha⁻¹. La línea ARB4 con un rendimiento de 26.15 t.ha⁻¹ indicó superioridad sobre el 40% de las líneas evaluadas identificadas como ARB16, ARB20, ARB9, ARB14, ARB10, ARB18, ARB7 y ARB5, con promedios entre 15.09 y 19.42 t.ha⁻¹ (Tabla 9).

Tabla 9.

Comparación de promedios para la variable rendimiento en verde para 20 líneas de arveja arbustiva (P. sativum L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño

Genotipo	Guaitarilla	Ospina	Yacuanquer	Tangua	Pasto
ARB 1	12.79ef	3.81ij	3.92cde	10.65h	20.58abcd
ARB 2	24.67a	7.08bcdefg	6.39 a	19.17bcde	20.52abcd
ARB 3	18.13bcde	6.83cdefg	3.00ef	20.05abcd	21.13abcd
ARB 4	12.69ef	6.16defgh	3.19ef	13.48gh	26.15a
ARB 5	16.70bcdef	3.54j	3.52def	12.92gh	15.09d
ARB 6	16.92bcdef	5.20ghij	2.47fg	15.23efg	25.45ab
ARB 7	15.33cdef	10.04a	5bc	21.68abc	17.47cd
ARB 8	14.86def	6.12defghi	3.21ef	15.42efg	23.36abc
ARB 9	15.70cdef	6.05efghi	3.00ef	18.49cdef	19.18bcd
ARB 10	19.16abcd	9.25ab	3.69de	19.17bcde	18.46cd
ARB 11	15.37cdef	5.50fghij	3.93cde	18.89bcde	23.89abc
ARB 12	20.28abcd	4.75ghij	4.65bcd	16.09defg	23.51abc
ARB 13	17.53bcde	7.86abcde	2.99ef	23.31ab	21.62abcd
ARB 14	17.64bcde	7.80abcdef	1.75gh	15.40efg	18.96bcd
ARB 15	22.83ab	9.30ab	3.4ef	18.43ab	22.09abc
ARB 16	21.12abc	8.39abcd	7.84a	23.91a	19.42bcd
ARB 17	14.49def	4.27hij	1.73gh	15.63defg	19.81abcd
ARB 18	18.79abcde	3.62j	1.78gh	20.8abc	17.70cd
ARB 19	19.09abcd	8.53abc	3.58def	21.43abc	22.74abc
ARB 20	11.10f	3.22j	0.81h	14.10fgh	19.34bcd
Media	17.25	6.36	3.44	17.71	20.81
Comparador	6.22	2.33	1,18	4.44	6.55
Tukey $p<0.05$					

Los resultados observados, indican que la introducción del gen afila (*afaf*) a materiales tipo arbustivo, utilizando como padres donantes los materiales ILS3575 y DOVE, y como padres recurrentes a las variedades comerciales convencionales Sindamanoy y San Isidro, favoreció la descendencia de los genotipos arbustivos afila, con un alto valor agronómico en cuanto al rendimiento, con valores entre 17.25 y 20.81 t.ha⁻¹ en las localidades de Guaitarilla, Tangua y Pasto. Variedades volubles de común uso en Nariño, reportan promedios experimentales entre 10

y 15 t.ha⁻¹ (Checa et al., 2022), lo anterior sugiere que los genotipos arbustivos evaluados presentan un alto potencial de rendimiento, lo cual permite considerar que entre ellos existen líneas con posibilidades de constituirse en una nueva alternativa productiva para la zona cerealista de Nariño.

Los rendimientos obtenidos indican que la presencia del gen *afaf* que reemplaza las hojas normales por zarcillos, no afecta de manera negativa el rendimiento del cultivo, lo cual concuerda con las investigaciones de Pantoja et al. (2014); Riascos et al. (2018) y Herrera, (2020), quienes encontraron que genotipos con el gen mutante afila, tuvieron un comportamiento similar a las variedades comerciales San isidro, Sindamanoy y Andina en el departamento de Nariño.

Las localidades de Ospina y Yacuanquer mostraron los rendimientos más bajos con medias de 6.36 y 3.44 t.ha⁻¹ respectivamente. En este sentido es importante destacar el efecto que puede tener el conjunto de condiciones ambientales aportadas por cada localidad, de tal manera que puede o no, ofrecer condiciones que potencialicen el comportamiento agronómico de los genotipos. El rendimiento en el cultivo de arveja es afectado por un conjunto de factores ambientales que pueden perjudicar su comportamiento e impedir la manifestación del potencial esperado de los genotipos, dichos factores son: los cambios abruptos de temperatura, estrés hídrico y sequías (Herrera, 2020).

De acuerdo con Burbano y colaboradores (2018), lo que hace, que los genotipos de arveja tipo afila se destaquen como materiales genéticos promisorios, son las ventajas conferidas por la presencia del gen mutante afila y los altos rendimientos alcanzados, lo cual se evidenció en su estudio “Efecto de cinco densidades de siembra en líneas de arveja *Pisum sativum* L. con el gen mutante afila”, donde las líneas UNIF14 y UNIF12, igualaron al testigo comercial Andina con un rendimiento de 13.72 t.ha⁻¹.

Algunos de los factores más importantes a considerar para la elección de variedades de arveja en los programas de mejoramiento son, la productividad y la tolerancia al volcamiento. Se sabe que, a mayor desarrollo del zarcillo, la resistencia al volcamiento es mayor (Wang et al., 2003). En el departamento de Nariño las variedades de arveja convencional, al no contar con la arquitectura afila, requieren altas inversiones, esto se debe a las exigencias en cuanto a labores de los sistemas de tutorado, lo que genera altos rendimientos y una mayor calidad de vaina fresca, (Casanova et al., 2012; Burbano et al., 2018), sin embargo uno de los factores limitantes de este sistema es el costo del tutorado, que representa el 52% de los costos de producción del cultivo (Checa et al, 2020b).

Por lo anterior, la generación y adopción de variedades de arveja afila, puede considerarse una respuesta genética promisoría para la zona cerealista del departamento de Nariño, donde la modificación de arquitectura evita el volcamiento, mejora la interceptación de luz y aireación del dosel, juega un papel importante en la resistencia a patógenos y plagas, conduce a altos rendimientos, mayor uniformidad de maduración y genera una mejor respuesta a sequía (Smýkal et al., 2013; Burstín et al., 2018; Taffesse et al., 2019).

De acuerdo con Vladan y colaboradores (2013), es importante la introgresión del gen afila a genotipos carentes de este, con fin de obtener resistencia al acame, además según lo reportado por Mihailovic et al. (2008), cultivares con el gen afila no evidencian disminución de la actividad fotosintética, pues no limita el peso de los granos ni el rendimiento, de tal manera que la ausencia de folíolos permite que el resto de órganos realice la fotosíntesis de manera eficiente, presentando rendimientos incluso más altos en comparación con los cultivares de tipo hoja normal (Mihailović et al., 2010).

4.8 Rendimiento en grano seco (RTOS)

En la localidad de Guaitarilla el rendimiento en grano seco osciló entre 3.37 y 6.14 t.ha⁻¹. Las líneas ARB2, ARB15 y ARB16 con promedios de 6.14, 5.58 y 5.35 t.ha⁻¹ respectivamente, superaron al 70% de los genotipos evaluados, que mostraron valores entre 3.37 y 4.38 t.ha⁻¹ (Tabla 10). La línea ARB2 superó al 85% de los materiales en estudio y presentó valores similares con los genotipos obtenidos por ARB15 y ARB16.

En Ospina, los valores para la variable rendimiento en grano seco, se encontraron entre 0.81 y 2.65 t.ha⁻¹. El genotipo ARB7 con un promedio de 2.65 t.ha⁻¹, superó al 80% de los materiales evaluados, que obtuvieron valores entre 0.81 y 2.10 t.ha⁻¹ (Tabla 10).

En Yacuanquer el rendimiento en seco estuvo entre 0.75 y 2.42 t.ha⁻¹. Las líneas ARB16, ARB2 y ARB12 con rendimientos de 2.42, 2.37 y 2.21 t.ha⁻¹ respectivamente, mostraron promedios similares y superaron al 70 % de los materiales evaluados que oscilaron entre 0.75 y 1.46 t.ha⁻¹ (Tabla 10).

En Tangua los promedios para rendimiento en grano seco oscilaron entre 1.64 y 5.15 t.ha⁻¹. Las líneas ARB16 y ARB15 con rendimientos de 5.15 y 5.06 t.ha⁻¹ respectivamente, superaron al 75% de los materiales evaluados, que obtuvieron entre 1.64 y 4.07 t.ha⁻¹. Las líneas ARB19, ARB2, y ARB13 con valores entre 4.32 y 4.45 t.ha⁻¹, fueron similares entre si y superiores a los genotipos ARB10, ARB20 y ARB1 de bajo rendimiento en grano seco (Tabla 10).

En Pasto, el rendimiento en grano seco fluctuó entre 2.61 y 6.56 t.ha⁻¹. ARB6 y ARB20 con rendimientos de 6.56 y 6.45 t.ha⁻¹ respectivamente, superaron a 12 líneas (ARB17, ARB8, ARB7, ARB14, ARB4, ARB18, ARB11, ARB15, ARB13, ARB9, ARB19, ARB5), cuyo rendimiento osciló entre 2.61 y 5.08 t.ha⁻¹ (Tabla 10).

Tabla 10.

Comparación de promedios para la variable rendimiento en seco de 20 líneas de arveja arbustiva (P. sativum L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño

Genotipo	Guaitarilla	Ospina	Yacuanquer	Tangua	Pasto
ARB 1	3.70fgh	1.11ghi	1.46def	1.64g	6.32ab
ARB 2	6.14a	1.92cde	2.37ab	4.36abc	5.66abcd
ARB 3	4.72cde	1.71def	1.45def	3.85bcde	5.51abcd
ARB 4	4.38def	1.54efg	1.30defg	3.48cdef	4.81cdef
ARB 5	3.50gh	0.89hi	0.88fg	3.51bcdef	2.61g
ARB 6	4.09efgh	1.30fghi	1.59cde	4.07bcde	6.56 a
ARB 7	4.37def	2.65a	1.73bcd	3.84bcde	4.97cdef
ARB 8	4.11efgh	1.53efg	1.39defg	3.36def	5.04bcdef
ARB 9	4.04efgh	1.51efg	1.31defg	3.56bcdef	4.12ef
ARB 10	3.92efgh	2.55ab	1.18defg	3.33ef	5.64abcd
ARB 11	4.03efgh	1.38fgh	1.23defg	3.87bcde	4.75cdef
ARB 12	5.20bcd	1.29fghi	2.21abc	3.53bcdef	6.05abc
ARB 13	4.02efgh	1.97cde	1.59cde	4.32abcd	4.63def
ARB 14	4.15efgh	1.95cde	0.75g	4.06bcde	4.90cdef
ARB 15	5.58ab	2.33abc	1.43def	5.06a	4.70def
ARB 16	5.35abc	2.10bcd	2.42a	5.15a	5.29abcde
ARB 17	4.11efgh	1.07ghi	0.97efg	3.96bcde	5.08bcdef
ARB 18	4.55cdef	0.84i	0.93efg	3.61bcde	4.78cdef
ARB 19	4.31efg	2.13abcd	1.32defg	4.45ab	3.85fg
ARB 20	3.37h	0.81i	0.98b	2.61bc	6.45a
Media	4.38	1.63	1.42	3.78	5.09
Comparador	0.85	0.51	0.67	0.96	1.30
Tukey $p<0.05$					

Al evaluar el rendimiento en seco de líneas tipo afila, Checa y Rodríguez (2015), mencionan que los materiales con el gen mutante afila lograron igualar estadísticamente a los testigos Andina y Sindamanoy, lo que coloca en evidencia que las modificaciones morfológicas de hojas a zarcillos desempeñan funciones bioquímicas de fotosíntesis y funciones fisiológicas, como la contribución al enfriamiento del dosel para evitar el calor y la pérdida de agua por transpiración, con lo cual se puede evitar pérdidas de rendimiento en seco (Tafesse et al., 2019).

Debido a las dificultades de tecnificación en el cultivo de arveja en las zonas cerealistas de Nariño, por los altos costos que representan la implementación de los sistemas de tutorado, es necesario trabajar con genotipos arbustivos con gen afila que a la vez que reducen el volcamiento, disminuyen también la diseminación de enfermedades al evitar que las vainas entren en contacto con el suelo (Checa et al., 2017; Duque et al., 2019). Los cultivares modernos tipo afila han ganado notoriedad y popularidad entre productores a nivel mundial, al presentar mayores rendimientos de semilla, en comparación con los cultivares de tipo silvestre o convencionales (Syrový et al., 2015).

El hábito tipo arbustivo de porte bajo, posee cualidades de vaina para consumo en fresco y para agroindustria (Checa et al., 2017). Los materiales evaluados en el presente estudio en cinco localidades de la zona cerealista, obtuvieron rendimientos en seco entre 1.42 y 5.09 t.ha⁻¹, mostrando variación en el potencial productivo que permite seleccionar aquellos genotipos de alto rendimiento y buena adaptación a esta región. Lo anterior sugiere la posibilidad de encontrar una alternativa productiva, que permita cubrir parcialmente la demanda de arveja en grano seco dentro del territorio nacional, además de las ventajas económicas para los productores, debido al bajo costo de implementación de este cultivo, que puede convertirse en una actividad rentable (Duque et al., 2019).

En este sentido es importante el conocimiento y el fortalecimiento de programas de mejoramiento para la producción de arveja seca en el territorio nariñense, pues las variedades regionales Piquinegra y Santa Isabel empleadas para la producción de grano seco, no son competitivas en el mercado nacional, debido a su falta de tecnificación y color crema de su semilla (Cadena et al., 2021).

Los resultados observados para la variable rendimiento en grano seco, concuerdan con los reportados por Tafesse et al. (2019), quienes manifiestan que genotipos afila alcanzaron un potencial de rendimiento de grano de más de 5 t.ha⁻¹. Mihailović et al. (2010) mencionan que cultivares de arveja afila alcanzaron un rendimiento en grano seco de 3.1 t.ha⁻¹, del mismo modo se afirma que genotipos afila obtuvieron promedios de 2.9 t.ha⁻¹ frente a cultivares de hojas convencionales que alcanzaron rendimientos de 2.1 a 2.2 t.ha⁻¹ (Mihailović et al., 2004)

Ito et al. (2016) afirman, que el rendimiento de grano seco en el cultivo de arveja, es un factor a tener en cuenta para la selección de genotipos promisorios de la especie. Por lo tanto, son necesarios intensos esfuerzos de mejoramiento genético que potencialicen la selección de genotipos con altos rendimientos. Cabe resaltar que el rendimiento en seco es uno de los factores que más se ve afectado frente a las diversas condiciones climáticas, dependiendo de los entornos donde se evalúe su comportamiento agronómico.

Tao y colaboradores (2017) evaluaron cultivares afila en seis entornos diferentes, obteniendo rendimientos en grano seco de 0.98 a 5.9 t.ha⁻¹ los cuales son similares a los alcanzados en la presente investigación. Lo anterior sugiere que el ambiente fue el factor impulsor mas importante en la determinación del rendimiento de grano, con una gran diferencia entre el rendimiento promedio en el sitio potencial de alto rendimiento y ambientes con ciertas restricciones. Por lo tanto, el potencial genético y fisiológico es alto pero los rendimientos pueden estar extremadamente limitados por las condiciones ambientales. Los ambientes Yacuanquer y Ospina presentaron suelos degradados y compactados. Además, condiciones de suelo especialmente la profundidad, pudo afectar la capacidad de retención de agua lo que causó un efecto en la expresión fenotípica del RTOS.

4.9 Reacción a *Ascochyta pisi*

Los resultados observados para la evaluación de *Ascochyta pisi* en zarcillos en los ambientes de Pasto, Tangua y Guaitarilla oscilaron entre 2 y 3. En Yacuanquer y Ospina, se observó un mayor ataque con una severidad de 2 a 4 (Tabla 11).

La severidad de *A. pisi* en estípulas indicó que, en las localidades de Pasto, Guaitarilla y Tangua el grado de afección presentó una reacción de 2 y 4 con porcentajes comprendidos entre 11 y 75 %. Los ambientes de Yacuanquer y Ospina indican valores de severidad entre 3 y 4 (26-75%) (Tabla 11).

La severidad de *A. pisi* en vainas, para la localidad de Pasto fluctuó entre 2 y 3 (11-50%), por su parte los ambientes Guaitarilla, Yacuanquer, Ospina y Tangua mostraron grados entre 2 y 4 (11-75%) (Tabla 11).

Tabla 11.

Reacción a A. Pisi en estipulas, zarcillos y vainas en la evaluación de 20 líneas de arveja arbustiva con gen afila, en cinco ambientes de la zona cerealista de Nariño

Patógeno	<i>Ascochyta Pisi</i>																	
Localidad	Pasto			Guaitarilla			Yacuanquer			Tangua			Ospina			V. Max		
Genotipo	Z	E	V	Z	E	V	Z	E	V	Z	E	V	Z	E	V	Z	E	V
ARB1	2	3	2	2	4	3	2	4	4	3	4	3	4	3	2	4	4	4
ARB2	2	3	2	2	3	3	2	3	2	2	3	2	2	3	3	2	3	3
ARB3	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2
ARB4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	4	3
ARB5	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	2	3	2	2	3	2
ARB6	2	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3	4	2	3	4	4
ARB7	3	3	3	2	3	2	3	4	2	3	3	3	2	4	2	3	4	3
ARB8	3	3	3	2	3	3	4	4	4	3	3	2	4	4	3	4	4	4
ARB9	2	3	3	2	3	3	4	4	4	2	2	3	4	3	2	4	4	4
ARB10	2	3	3	3	3	2	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4
ARB11	2	3	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3
ARB12	3	3	2	3	3	3	3	4	2	2	3	2	3	3	3	3	4	3
ARB13	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	3	3	4	3
ARB14	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2	2	3	2	4	2	3	4	3
ARB15	2	3	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3
ARB16	2	2	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	4	2	3	4	2
ARB17	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	2	2	3	3
ARB18	2	3	3	3	4	2	3	4	3	3	4	3	3	4	4	3	4	4
ARB19	2	3	3	2	3	2	2	3	2	2	3	3	2	3	2	2	3	3
ARB20	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4

GRADO 1:0-10% 2: 11-25% 3:26-50% 4:51-75% 5:76-100%

1 = AR altamente resistente. 2 = R resistente., 3 = MR moderadamente resistente. 4 = MS moderadamente susceptible. 5 = S susceptible.

Las enfermedades son las restricciones bióticas más importantes que afectan la producción mundial de arveja (Warkentin et al., 2015), causando pérdidas de rendimiento que van desde un pequeño porcentaje hasta la pérdida total de la cosecha según la ubicación y las condiciones ambientales (Jha et al., 2021).

Ascochyta pisi es un hongo patógeno necrotrófico, de gran importancia económica por su alto impacto, pues llega a reducir el rendimiento entre un 20 a 50 %, además de deteriorar la calidad

de la vaina y de los granos cosechados. Por lo general, se presenta en los primeros estados de desarrollo del cultivo, afectando principalmente el tercio inferior de la planta e incrementando las afecciones por condiciones de lluvias intensas y alta humedad en el ambiente, especialmente durante la floración y el llenado de las vainas. (Sánchez, 2019).

El avance de esta enfermedad se observó de manera progresiva y ascendente desde la parte basal hacia la parte superior, lo cual concuerda con lo reportado por Muñoz, 2012; Valencia et al., 2012 y Checa et al., 2020. La presencia de este patógeno, favorecida por las condiciones climáticas de la región andina, implica altos riesgos en cuanto a rendimiento y pérdidas económicas por las lesiones ocasionadas en hojas, tallos y vainas presentando un grave problema en la comercialización en vaina verde (Martínez et al., 2020; Aguilar et al., 2021).

Ninguna de las líneas evaluadas, evidencio alta resistencia hacia *A. pisi*, dependiendo de la localidad los genotipos expresaron diferentes grados de reacción, sin embargo, teniendo en cuenta los valores máximos alcanzados a través de las localidades, las líneas ARB2, ARB3, ARB5 ARB11, ARB15, ARB17 y ARB19 presentaron un grado de moderadamente resistente, el resto de los genotipos alcanzaron el grado de 4 (moderadamente susceptible), ya sea en estipula, zarcillos o vainas (Tabla 11).

Es imprescindible la búsqueda de fuentes de resistencia a este patógeno cuya importancia a nivel departamental se ha ido incrementando debido a que las variedades de uso comercial presentan alta susceptibilidad (Muñoz, 2012). Una de las estrategias más eficientes para el control a largo plazo es la obtención de variedades con resistencia genética; sin embargo, el desarrollo de nuevas variedades presenta dificultad debido a la falta de materiales que presenten resistencia y que puedan aportar como padres donadores (Álvares y Murillo 2020).

4.10 Reacción a *Erysiphe pisi*.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 12, el grado de afección en estípulas varió entre 2 y 3 para las localidades de Guaitarilla y Yacuanquer indicando porcentajes entre 11 y 50 % de severidad, las localidades de Tangua y Ospina presentaron valores en afección de 2 y 4 con porcentajes entre 11-75%, finalmente en el ambiente Pasto el grado de afección comprendió valores entre 3 y 5 indicando porcentajes de severidad entre 26 y 100%, siendo esta última, la localidad más representativa en cuanto a daño causado por *E. pisi*.

La severidad del patógeno *Erysiphe pisi* en vainas, para las localidades de Pasto, Tangua y Ospina osciló entre 2 y 4 con porcentajes entre 11 y 75% de afección, por su parte los ambientes Guaitarilla y Yacuanquer muestran grados que varían entre 2 y 3 (11-50%) (Tabla 12).

En los zarcillos los grados de afección para los ambientes Guaitarilla y Tangua oscilaron entre 2 y 3 (11-50%), el ambiente Pasto indico grados de afección entre 3 y 4 (26-75%), en la localidad de Yacuanquer se observaron grados de afección entre 1 y 3 con porcentajes comprendidos entre 1 al 50% y finalmente para la localidad de Ospina la severidad en los zarcillos se encontró entre los grados 1 a 4 con porcentajes de infección del 0 al 75% (Tabla 12).

Tabla 12.

Reacción a E. pisi en estipulas, zarcillos y vainas en la evaluación de 20 líneas de arveja arbustiva con gen afila, en cinco ambientes de la zona cerealista de Nariño

Patógeno	<i>Erysiphe pisi</i>																	
Localidad	Pasto			Guaitarilla			Yacuanquer			Tangua			Ospina			V. Max		
Genotipo	Z	E	V	Z	E	V	Z	E	V	Z	E	V	Z	E	V	Z	E	V
ARB1	3	5	3	2	3	2	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	5	3
ARB2	2	3	2	2	3	2	1	3	2	2	3	3	1	3	2	2	3	2
ARB3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	3
ARB4	4	5	4	3	3	3	2	2	3	3	4	3	4	3	4	4	5	4
ARB5	2	3	3	2	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3
ARB6	3	4	4	2	3	3	3	3	3	3	4	4	2	4	2	3	4	4
ARB7	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3
ARB8	3	5	4	2	3	3	2	3	2	3	3	4	2	4	4	3	5	4
ARB9	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3
ARB10	4	5	4	3	3	3	2	3	2	3	3	4	3	3	3	4	5	4
ARB11	3	4	3	2	3	2	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3
ARB12	2	4	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	2	4	3	3	4	3
ARB13	4	4	3	2	3	2	3	3	2	3	3	2	2	3	3	4	4	3
ARB14	3	5	4	2	3	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	5	4
ARB15	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3
ARB16	2	3	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3
ARB17	2	5	3	2	3	2	2	2	2	3	3	2	2	3	2	3	5	2
ARB18	3	4	4	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	4	3	4	4
ARB19	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3
ARB20	4	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	2	4	5	4
GRADO	1:0-10%			2: 11-25%			3:26-50%			4:51-75%			5:76-100%					
1 = AR altamente resistente. 2 = R resistente., 3 = MR moderadamente resistente. 4 = MS moderadamente susceptible. 5 = S susceptible.																		

El mildiú polvoso, es una enfermedad fúngica importante, causada por un biótrofo obligado, *E. pisi*, que afecta significativamente la producción de arveja en todo el mundo, *E. pisi* afecta el follaje, tallos y es el responsable de la mala calidad de la vaina con alrededor de 25–80% de pérdidas de rendimiento en todo el mundo (Sharma et al., 2019).

La enfermedad aparece como motas blancas en las hojas de arveja afectadas que infectan gradualmente toda la planta, lo que provoca la pérdida de nutrientes, la interrupción del proceso fotosintético y la muerte prematura de las hojas y otros tejidos de la planta (Bheri et al., 2019).

El 30% de las líneas evaluadas presentaron una reacción con un grado 4 en estipula moderadamente susceptible (MS) a oídio (*Erysiphe pisi*) y están en un rango de rendimiento entre 12.48 y 14.65 t.ha⁻¹. Dentro de ellos, los genotipos ARB10, ARB11, ARB12 y ARB13 presentaron rendimientos mayores a la media general (13.11 t.ha⁻¹).

En vainas los genotipos ARB1, ARB4, ARB8, ARB10, ARB14, ARB17 y ARB20 alcanzaron porcentajes de severidad superiores al 75%, cabe mencionar que la línea ARB10 con un rendimiento promedio 13.94 t.ha⁻¹ superó a la media general (13.11 t.ha⁻¹), sin embargo su deterioro en la calidad fue muy evidente. El resto de las líneas mencionadas anteriormente indicaron valores inferiores a la media general.

El 35% restante de los materiales indicaron un grado de reacción entre 2 y 3 tanto en vaina como en estipula. Los materiales ARB2, ARB15, ARB16 y ARB19 superaron a la media general de rendimiento con promedios entre 15.07 y 16.13 t.ha⁻¹. Estos resultados concuerdan con los reportados por Checa y Rodríguez (2015) que al evaluar 90 materiales de arveja tipo afila encontraron 19 genotipos promisorios que indicaron resistencia y resistencia moderada hacia *E. pisi*.

4.11 Adaptabilidad y estabilidad fenotípica método Eberhart y Russell, para rendimiento en vaina verde de 20 genotipos de arveja arbustiva afila en cinco ambientes.

El potencial de rendimiento, la adaptabilidad y la estabilidad son parámetros definitivos para la selección de materiales potenciales, para el mejoramiento de la productividad del cultivo por lo tanto, el estudio de genotipos de arveja arbustiva con gen afila adaptados a los municipios de la

zona cerealista de Nariño, es de interés para la recomendación de cultivares y para optimizar los beneficios agronómicos y económicos para los productores de la región.

La interacción genotipo x ambiente es uno de los factores determinantes para la recomendación y selección de cultivares con amplia adaptabilidad, lo que permite incrementar la eficiencia del mejoramiento genético (Deitos et al., 2006; Souza et al., 2009). Los genotipos, tienen diferente desempeño en cada región y dependiendo de su comportamiento se puede maximizar la productividad (Souza et al., 2008). Eberhart y Russell (1966) desarrollaron una metodología para identificar cultivares con mayor adaptabilidad y estabilidad, la cual ha sido ampliamente utilizada en la identificación de genotipos superiores (Grunvald et al., 2008; Namorato et al., 2009; Oda et al., 2022).

Se realizó la prueba de adaptabilidad y estabilidad fenotípica de Eberhart y Russell 1966. Según Vargas et al. (2016), este método, manifiesta que los tres criterios para la selección de genotipos son: el rendimiento en vaina verde, el coeficiente de regresión (β_1) y desviación de regresión (S^2d). Un genotipo con un coeficiente igual a 1 evidencia adaptabilidad a todos los ambientes y genotipos cuya desviación no difiera de cero, sugiere estabilidad. Según Venkosky y Barriga, las desviaciones de la regresión iguales a cero sugieren que el genotipo es predecible.

Teniendo en cuenta los resultados relacionados con los índices ambientales (Tabla 13) los ambientes más favorables fueron: Guaitarilla (17.25 t.ha⁻¹), Pasto (20.81 t.ha⁻¹) y Tangua (7.71 t.ha⁻¹) los cuales obtuvieron altos promedios para rendimiento y alcanzaron los índices más altos con 4.13, 7.69 y 4.59 respectivamente. En contraste los ambientes de Yacuanquer (3.44 t.ha⁻¹) y Ospina (6.36 t.ha⁻¹) presentaron los rendimientos y los índices más bajos sugiriendo que son los entornos menos favorables para los genotipos de arveja arbustiva con gen afila evaluados (Tabla 13).

Tabla 13.

Rendimiento promedio e índices ambientales en el análisis de adaptabilidad y estabilidad fenotípica

Ambientes	Medias	Índice ambiental
Guaitarilla	17.25	4.13
Ospina	6.36	-6.75
Pasto	20.81	7.69
Tangua	17.71	4.59
Yacuanquer	3.44	-9.67

Los parámetros de adaptabilidad y estabilidad fenotípica indican que las líneas ARB3 y ARB19 con promedios de 13.83 y 15.07 t.ha⁻¹, superaron la media general y presentaron valores de $\beta=1$ $S^2=0$ (Tabla 14), indicando que tuvieron una buena adaptación a los ambientes evaluados y un comportamiento predecible, siendo posible recomendarlos para dichos ambientes. Las líneas ARB17 y ARB 9 con rendimientos de 11.18 y 12.48 t.ha⁻¹ no superaron a la media (13.11 t.ha⁻¹), pero mostraron adaptabilidad a todos los ambientes y un comportamiento estable. Es importante tener en cuenta que un cultivar ideal es aquel que tiene un promedio superior a la media general, de tal manera que los genotipos ARB17 y ARB3, aunque cumplen con los parámetros de adaptabilidad y estabilidad, no pueden ser recomendado.

Los genotipos ARB2, ARB4, ARB8, ARB10, ARB11, ARB12, ARB14 ARB15, ARB16 y ARB20 presentan adaptabilidad a todos los ambientes con un $\beta=1$ pero son inestables ($S^2d \neq 0$), los genotipos ARB1, ARB5 y ARB7 mostraron adaptabilidad a ambientes desfavorables como Yacuanquer y Ospina, pero sus desviaciones de la regresión sugieren que no son predecibles. En contraste los genotipos ARB6, ARB13 y ARB18 indicaron adaptabilidad a ambiente favorables

como Guitarrilla. Tangua y Pasto, pero bajo desempeño en ambientes desfavorables, no obstante, su comportamiento no fue predecible lo cual impide su recomendación.

Tabla 14.

Parámetros de estabilidad fenotípica para rendimiento en vaina verde en la evaluación de 20 líneas de arveja arbustiva afila en cinco ambientes de la zona cerealista de Nariño

GENOTIPO	Media	Beta=1	S ² =0
ARB1	10.346	0.8305**	9.7198**
ARB2	15.36	1.0487ns	11.1167**
ARB3	13.83	1.0754ns	0.1843ns
ARB4	12.33	1.0274ns	20.5757**
ARB5	10.35	0.788**	4.3023**
ARB6	13.05	1.1696**	6.9729**
ARB7	13.9	0.7661**	9.3947**
ARB8	12.57	1.0091ns	4.4182**
ARB9	12.48	0.9619ns	0.4451ns
ARB10	13.94	0.8922ns	3.7274**
ARB11	13.51	1.0943ns	3.3993**
ARB12	13.85	1.1058ns	5.1293**
ARB13	14.65	1.1152*	5.7013**
ARB14	12.31	0.9297ns	2.3675**
ARB15	15.2	1.0707ns	5.4757**
ARB16	16.13	0.9046ns	9.5862**
ARB17	11.18	1.008ns	-0.2295ns
ARB18	12.53	1.1313*	7.9298**
ARB19	15.07	1.0991ns	0.605ns
ARB20	9.71	0.971ns	3.1653**

4.12 Adaptabilidad y Estabilidad fenotípica método AMMI, para rendimiento en vaina verde de 20 genotipos de arveja arbustiva afila en cinco ambientes.

El análisis de varianza para rendimiento en vaina verde ($t.ha^{-1}$), permitió identificar diferencias estadísticas entre ambientes, genotipos y la interacción genotipo por ambiente (IGA) (Tabla 15). Los resultados indicaron que el 78.20% de la suma total de los cuadrados fue atribuible a los efectos ambientales, el 4.97% a los efectos del genotipo y el 7.43% a los efectos de la interacción genotipo ambiente, confirmando la influencia del ambiente en la expresión fenotípica del rendimiento de los genotipos evaluados.

La significancia en la IGA para el rendimiento en los genotipos de arveja arbustiva con gen afila, sugiere un comportamiento diferencial de las líneas a través de los ambientes evaluados. Lo anterior confirma lo reportado por Tolesa et al. (2013); Ito et al (2016) y Kindie et al (2019) quienes informaron significancia para los efectos aditivos y multiplicativos, en cultivares de arveja.

Al estudiar los efectos de la interacción GxA es de gran utilidad la variación ambiental para evaluar la estabilidad fenotípica de los genotipos (Tena et al., 2019). La alta proporción en la variación explicada por el ambiente (78.20%) sugiere que existieron entornos altamente contrastantes, donde las localidades presentaron condiciones ambientales divergentes que causaron la mayor parte de la variación en el rendimiento. Variaciones en altitud, temperatura, precipitación y tipo de suelo fueron observadas en los diferentes entornos (Tabla 2), influyendo en la respuesta de los genotipos en cada sitio experimental.

Tabla 15.

Análisis de varianza AMMI del estudio de 20 líneas de arveja arbustiva afila en cinco ambientes de la zona cerealista de Nariño

Fuente de variación	gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	%
Modelo	102	23089.04	226.36**	92.68
Repeticiones	3	1145.82	381.941**	4.73
Ambientes	4	18941.45	4735.36**	78.20
Genotipos	19	1203.17	63.325**	4.97
GxA	76	1798.57	23.66**	7.43
Error	297	1131.38	3.809	4.67
Total	399	24220.43		100
Términos AMMI				
Amb*Gen	76	1798.57	23.66	100
IPCA1	22	988.852	44.9478**	54.97
IPCA2	20	439.094	21.9547**	24.41
IPCA3	18	239.143	13.2857**	13.29
Residual	16	131.49	8.2181	7.31
Error	297	1131.38	3.809	4.67

R^2 :0.95 C. V: 14.87 Root MSE: 1.95 Rto $\bar{y}$: 13.11 t.ha⁻¹

En la aplicación del modelo AMMI para la interacción GxA, se observa que el primer, segundo y tercer componente principal, representan el 54.97%, 24.41% y 13.29% respectivamente, explicando en conjunto el 92.67% de la variación total (Tabla 15). Los componentes principales 1 y 2 (CP1, CP2) con 54.97% y 24.41% son los que logran explicar la mayor proporción de la interacción observada, en consecuencia, la interacción GxA en el modelo AMMI estuvo definida entre el primer y segundo componente principal, con el 79.38% de la variación explicada.

Kindie y colaboradores (2019) afirman que lo ideal es que la mayor variación observada en la IGA sea explicada en los dos primeros componentes principales del análisis AMMI para el cultivo de arveja, tal como ocurrió en el presente estudio, sin embargo, esto no siempre sucede. Estudios

realizados por Bocianowski et al (2019d) en arveja reportaron un valor explicado por los dos primeros componentes principales del 53%.

Sharifi et al. (2017) afirman que la significancia del aporte de los dos primeros componentes principales en estudios de IGA, determinan la validez del ASV, que es un parámetro útil y apropiado para la identificación de genotipos estables, de tal manera que facilita la interpretación de su comportamiento para la selección de genotipos superiores.

Los valores para rendimiento oscilaron entre 9.72 t.ha⁻¹ (ARB20) a 16.13 t.ha⁻¹ (ARB16). Los genotipos ARB2, ARB3, ARB7, ARB10, ARB11, ARB12, ARB13, ARB15, ARB16 y ARB19 tuvieron los mayores promedios con rendimientos entre 13.51 y 15.36 t.ha⁻¹ en todos los ambientes evaluados superando a la media general que fue de 13.11 t.ha⁻¹, mientras que los genotipos ARB1 ARB4, ARB5, ARB6 ARB8, ARB9 ARB14 ARB17, ARB18 y ARB20, produjeron rendimientos por debajo de la media general (Tabla 14). El rendimiento entre ambientes también fue variable siendo Pasto, Tangua y Guaitarilla los de más alto promedio con valores entre 17.25 y 20.81 t.ha⁻¹ mientras Yacuanquer y Ospina presentaron los promedios más bajos con 3.44 y 6.36 t.ha⁻¹ respectivamente.

Los ambientes y genotipos que expresan estabilidad son aquellos que se encuentran graficados por puntos cercanos a cero para los dos ejes de la interacción (CP1 y CP2). Los ambientes o genotipos con ángulos agudos se correlacionan entre sí (Yan and Kang, 2002; Rea et al., 2014), mientras que los ambientes o genotipos que forman un ángulo recto entre vectores indican ausencia de asociación entre ambientes o genotipos, la formación de un ángulo obtuso sugiere asociación negativa (Rea et al., 2014).

En el Biplot AMMI generado a través del uso de los valores ambientales y genotípicos de los dos primeros componentes principales de AMMI (Anexo B), Los ambientes Pasto, Guaitarilla y Tangua discriminan los genotipos de manera opuesta ángulo obtuso (figura 3). La aproximación de los genotipos a ambientes específicos se representa como proyecciones de tipo ortogonal de cada material con respecto a los ambientes (Sharifi et al., 2017).

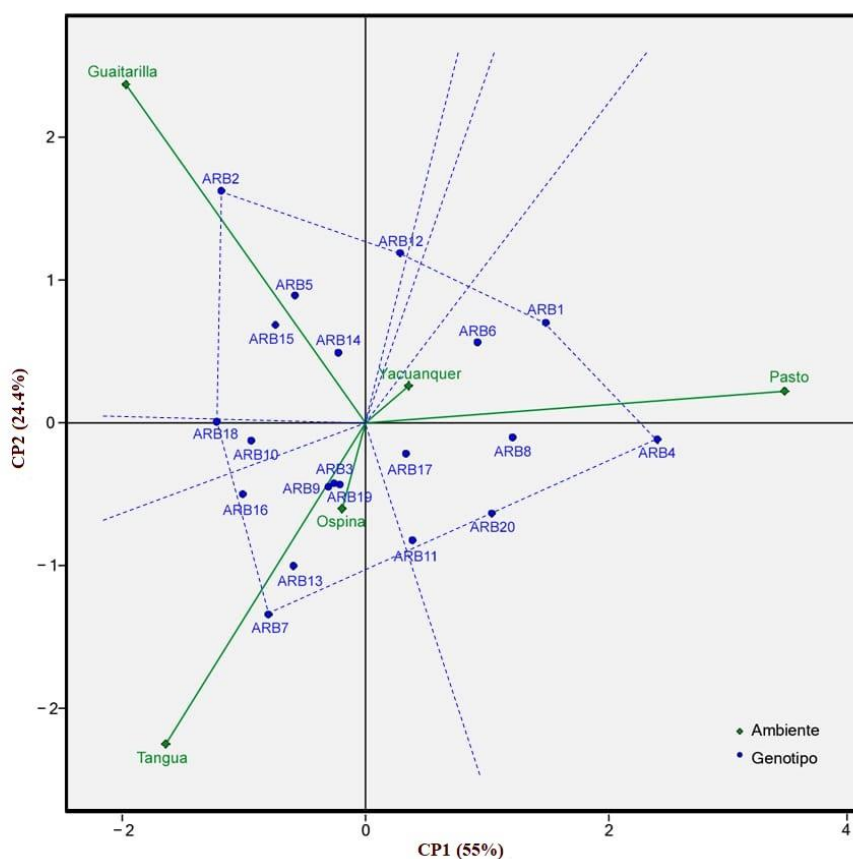


Figura 3. AMMI Biplot para rendimiento en vaina verde (t.ha⁻¹) de 20 líneas de arveja arbustiva con gen afila (*P. sativum* L.) en cinco municipios de la zona cerealista del departamento de Nariño.

Dentro del Biplot AMMI, los genotipos ARB2, ARB12, ARB1 ARB4, ARB20, ARB11, ARB7, ARB16 y ARB18 forman el polígono de variación, siendo los responsables de hacer la mayor contribución a la significancia de la interacción genotipo ambiente (figura 3). Para estos

genotipos el efecto ambiental de tipo negativo o positivo, afectó en mayor grado la expresión de la estabilidad predominantemente en las líneas ARB2, ARB4 y ARB7. Por otra parte, la mayor proximidad de las líneas ARB3, ARB9, ARB17 y ARB19 al origen los ejes CP1 y CP2 sugiere su alta estabilidad (figura 3)

Los valores AMMI (ASV), revelaron variaciones en la estabilidad del rendimiento para los 20 genotipos de arveja arbustiva afila. De acuerdo con Purchase et al. (2000), la estabilidad de una variedad está definida por la proximidad a cero del valor obtenido en el criterio ASV, en consecuencia, los genotipos ARB3, ARB9, ARB14, ARB17, ARB19 y ARB15 con valores de 0.78, 0.81, 0.55, 0.65, 0.72 y 1.28 respectivamente, fueron los que mostraron mayor estabilidad, mientras que ARB1, ARB2, ARB4, ARB6 ARB7, ARB8 ARB16 y ARB18 con ASV de 2.9, 2.44, 4.49, 2.81, 2.57, 2.21, 2.95 y 2.6 fueron los menos estables (Tabla 16).

De acuerdo con la gráfica biplot y observando los ambientes contrastantes, la línea ARB2 tiene buena adaptación para el ambiente de Guaitarilla mientras que la línea ARB4 tiene mejor desempeño en el ambiente de Pasto y la línea ARB7 en el ambiente Tangua.

Tabla 16.

Valores para rendimiento promedio, componentes principales, valor de estabilidad AMMI (ASV) e índice de selección genotípica (GSI) para 20 líneas de arveja arbustiva afila en cinco ambientes del departamento de Nariño.

Ambiente	ARB1	ARB2	ARB3	ARB4	ARB5	ARB6	ARB7	ARB8	ARB9	ARB10	ARB11	ARB12	ARB13	ARB14	ARB15	ARB16	ARB17	ARB18	ARB19	ARB20	PROMEDIO	IPCAe1	IPCAe2
Yacuanquer	3.92	6.39	3	3.19	3.52	2.47	5	3.21	3	3.69	3.93	4.65	2.99	1.75	3.4	7.84	1.73	1.78	3.58	0.81	3.44	0.402	0.211
Guaitarilla	12.79	24.67	18.13	12.69	16.7	16.92	15.33	14.86	15.7	19.16	15.37	20.28	17.53	17.64	22.83	21.12	14.49	18.79	19.09	11.1	17.25	-1.388	2.512
Ospina	3.81	7.08	6.83	6.16	3.54	5.2	10.04	6.12	6.05	9.25	5.5	4.75	7.86	7.8	9.3	8.39	4.27	3.62	8.53	3.22	6.36	-0.101	-0.633
Pasto	20.58	20.52	21.13	26.15	15.09	25.45	17.47	23.36	19.18	18.46	23.89	23.51	21.62	18.96	22.09	19.42	19.81	17.7	22.74	19.34	20.81	3.096	-0.168
Tangua	10.65	19.17	20.05	13.48	12.92	15.23	21.68	15.42	18.49	19.17	18.89	16.09	23.31	15.4	18.43	23.91	15.63	20.8	21.43	14.1	17.71	-2	-1.921
PROMEDIO	10.35	15.37	13.83	12.33	10.35	13.05	13.9	12.57	12.48	13.94	13.51	13.86	14.66	12.31	15.21	16.13	11.19	12.54	15.07	9.72	13.11		
IPCag1	1.278	-0.854	-0.328	1.988	-0.446	1.242	-0.978	0.98	-0.292	-0.829	0.64	0.511	-0.601	-0.157	-0.354	-1.308	0.28	-1.168	-0.268	0.667			
IPCag2	0.39	1.51	-0.261	-0.397	1.008	0.35	-1.325	-0.183	-0.48	0.057	-0.656	1.1	-1.073	0.424	1.005	-0.222	-0.172	-0.017	-0.401	-0.653			
estabilidad ASV	2.9	2.44	0.78	4.49	1.42	2.81	2.57	2.21	0.81	1.86	1.58	1.59	1.72	0.55	1.28	2.95	0.65	2.6	0.72	1.63			
GSI	37	16	13	35	25	28	22	25	19	18	18	17	16	17	9	20	19	29	7	30			

La interpretación del ranking de los genotipos evaluados a través del índice de selección (GSI) se hizo teniendo en cuenta que los materiales más recomendados son aquellos que tienen el menor valor en el GSI. En consecuencia, las líneas ARB19, ARB15 y ARB3 presentaron los mejores índices de selección (GSI=7, GSI=9, GSI=13), resultantes de su alto rendimiento por encima de la media general y su valor de estabilidad (ASV) más cercano a cero, respecto a las demás líneas evaluadas (Tabla 16).

El concepto de estabilidad se usa para la identificación de genotipos que presenten rendimientos constantes en diferentes ambientes (concepto estático), pero es importante considerar de manera simultánea tanto la estabilidad de los genotipos como un rendimiento igual o superior al de la media general (concepto dinámico). En este sentido como lo menciona Farshadfar (2008) la estabilidad sola no es un criterio de selección apropiado, porque los genotipos que muestran más estabilidad no siempre tienen un buen rendimiento, por lo tanto a través del índice de selección genotípica (GSI) que está en función del rendimiento y del valor de estabilidad de AMMI (ASV), se tiene un concepto más amplio y dinámico de estabilidad. Los resultados de la aplicación del GSI generaron un orden de mérito que permitió seleccionar a las líneas ARB 19, ARB15 y ARB3, como las de mejor combinación de estabilidad y rendimiento para los ambientes estudiados, (Tabla 16).

El índice de selección genotípica (GSI) utilizado, fue también reportado en otras investigaciones como lo mencionan Rao y Prabhakaran (2005); Atta et al. (2009); Farshadfar et al. (2011) y Bocianowski et al. (2019b), quienes a través de este índice seleccionaron los genotipos promisorios en diversos ambientes.

En este estudio, se realizó una comparación entre modelos de estabilidad, para seleccionar genotipos de arveja arbustiva con gen afila más estables en cinco municipios del departamento de Nariño. Los modelos que se utilizaron cuantificaron la estabilidad de los genotipos con respecto tanto al nivel de rendimiento como a la estabilidad, de tal manera que los dos criterios deben considerarse simultáneamente para explotar el efecto útil de la interacción GxA y hacer la selección de los genotipos más precisa.

Se encontró que los parámetros de estabilidad como ASV y GSI son útiles para detectar la estabilidad fenotípica de los genotipos, por lo tanto, al comparar los resultados obtenidos en AMMI y en Eberhart y Russell, se observa que en AMMI al tener en cuenta el índice de selección genotípica las líneas ARB19, ARB15 y ARB3 superaron la media general de rendimiento y fueron estables o adaptables a los cinco ambientes evaluados, mientras que en Eberhart y Russell si se tienen en cuenta además del parámetro de adaptabilidad ($\beta = 1$), las desviaciones de la regresión ($S^2 d = 0$) y el rendimiento para definir la predecibilidad, entonces los genotipos seleccionados por cumplir las dos condiciones y superar la media general son ARB3 y ARB19 presentando una coincidencia del 66,6% en la identidad de los genotipos en comparación con el método AMMI.

Herrera (2020) reportó una coincidencia del 37.5% entre los modelos AMMI y Eberhart y Russell, usados para identificar genotipos superiores de arveja con gen afila en el departamento de Nariño, de igual manera Fierro (2012) afirma que, al evaluar la estabilidad de 20 genotipos de arveja voluble, encontró un 77% de similitud al comparar los métodos de Eberhart y Russell y AMMI. Goa & Mohammed (2013) mencionan que al evaluar 24 genotipos de arveja a través de los modelos de Eberhart y Russell y AMMI, dos líneas resultaron estables y con un rendimiento prometedor, mostrando una coincidencia del 66% entre los dos métodos.

Los análisis de estabilidad fenotípica están evolucionando continuamente para agregar precisión al componente de interacción del genotipo y el medio ambiente. En lugar de depender de un solo análisis, los artículos publicados sobre la estabilidad fenotípica de varios cultivos a menudo se encuentran en una combinación de dos o tres análisis tal como lo indican Ferreira et al., 2015; Goa & Mohammed, 2013 y Herrera, 2020.

Es muy importante seleccionar el método correcto de análisis para capturar la máxima interacción entre el genotipo (G) y el medio ambiente (A). El modelo de interacción media multiplicativa aditiva (AMMI) es el modelo más utilizado hasta ahora (Sharifi et al., 2017; Karuniawan et al., 2021; Biswas et al., 2021). El modelo AMMI se ha utilizado eficazmente para visualizar los efectos principales de los componentes de interacción Genotipo, ambiente y GxA para facilitar la selección de genotipos prometedores y líneas de reproducción, así como ambientes ideales de reproducción de plantas (Campbell y Jones, 2005).

4.13 Correlaciones genéticas

Los coeficientes de correlación genotípica para las variables de rendimiento en arveja arbustiva con gen afila se presentan en la tabla 17. El análisis de correlación indicó que el rendimiento mostró una correlación altamente significativa y positiva con número de vainas por planta, peso de vaina con grano, número de granos por vaina y peso de grano vaina.

Tabla 17.

Correlaciones genéticas para 5 caracteres en arveja arbustiva afila

	PVCG	NGV	PGV	Rendimiento
NVP	0.5084**	0.1989*	0.351**	0.9**
PVCG		0.2128*	0.4935**	0.8376**
NGV			0.9059**	0.3779**
PGV				0.7176**

Riascos y colaboradores (2020) encontraron un alto grado de asociación entre rendimiento y número de vainas por planta (0.71), de igual manera Ceyhan y Avci (2005) y Ligarreto et al. (2009) mencionan altas correlaciones entre estas variables, con valores de 0.69 y 0.83 respectivamente. Pantoja et al. (2014) obtuvieron correlaciones genéticas altas entre el rendimiento y peso de vaina con grano con un valor de 0.88 y a su vez altos valores de correlación entre rendimiento y peso de grano por vaina (0.76), resultados que coinciden con los obtenidos en la presente investigación. Lo anterior sugiere la posibilidad de mejorar de manera efectiva el rendimiento, mediante la mejora simultánea de las características que indicaron alto grado de correlación (NVP, PVCG, PGV), sin embargo, el análisis de sendero que será discutido más adelante podrá confirmar o no la posibilidad de que estas variables sean de utilidad para realizar selección indirecta por rendimiento.

El rendimiento también presentó correlación significativa con la variable número de granos por vaina cuyo valor fue relativamente bajo (0.37) (Tabla 17), lo anterior fue reportado por Pantoja y colaboradores (2014) quienes indicaron el mismo valor de correlación entre estas variables. De igual manera Ligarreto y colaboradores (2009) indicaron un valor de asociación intermedio de 0.49 para las variables mencionadas anteriormente, aunque no mostraron significancia entre ellas.

Khan et al. (2017) reportaron un grado de asociación significativo entre el rendimiento y el número de granos por vaina (0.16).

El NVP tuvo una correlación significativa con PVCG (0.50) (Tabla 17), que sugiere que algunos de los genes que controlan el NVP planta pueden estar cercanos a los genes que gobiernan el PVCG de tal manera que la expresión del NVP puede tener influencia sobre la expresión del PVCG o viceversa. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Riascos et al. (2020) para quienes el valor de esta correlación mostró un valor de 0.43. De igual manera el NVP tuvo una correlación baja pero significativa con el NGV (0.19). Por su parte, Bahadur et al. (2021) reportaron una correlación significativa entre el número de vainas por planta y el número de granos por vaina. El NVP presentó un grado de asociación intermedio de 0.35 con el PGV, lo cual puede indicar una leve influencia del peso de granos por vaina sobre el número de vaina por planta.

La variable PVCG mostro una correlación positiva y significativa con NGV (0.28) (Tabla 17), al respecto podemos inferir que, hay una pequeña contribución del número de granos por vaina al peso de la vaina con grano, lo cual puede significar que en alguna medida el aumentar el número de granos pueda hacer un pequeño aporte al peso de la vaina llena en estado fresco. El PVCG indicó un grado de asociación positivo con PGV de 0.49, sugiriendo que en los materiales evaluados el peso de la vaina llena en fresco depende en cerca de un 50% del peso de los granos Pantoja y colaboradores (2014) reportaron una correlación de 0.91 entre estas dos variables.

Se presentó una correlación alta y significativa entre NGV y PGV (0.90) lo que nos permite deducir que las líneas que presentaron mayor peso de sus granos por vaina corresponden a líneas con un número mayor de granos por vaina. Lo anterior sugiere que al incrementar el número de

granos por vaina en estos materiales conduce a aumentar el peso de grano por vaina. Pantoja et al. (2014) encontraron una correlación de 0.40 entre NGV y PGV, que si bien fue significativa es mucho más baja a la reportada en esta investigación. Lo cual puede ser atribuido a diferencias genéticas entre el tipo de genotipos evaluados.

4.14 Análisis de sendero

Las correlaciones genotípicas fueron analizadas de manera más detallada a través del coeficiente de sendero, debido a que esta metodología permite establecer las relaciones efecto causa y determinar que tan fuerte es la relación entre las variables. Además, el conocimiento sobre la presencia de asociación entre los componentes de rendimiento, revela como algunos de ellos pueden servir como indicador de rendimiento. Esto implica dividir las correlaciones en efectos directos e indirectos a través de rutas alternativas (Singh et al., 2019).

En la presente investigación, el análisis del coeficiente de sendero reveló que la correlación genética entre NVP y Rendimiento fue altamente significativa (0.9), de igual manera el efecto directo es alto 0.70 sugiriendo que la selección por NVP conduce a la obtención de genotipos de alto rendimiento. Los efectos indirectos se compensaron parcialmente entre si y no tuvieron un aporte importante en la correlación (Tabla 18, figura 4). Resultados similares fueron reportados por Riascos et al. (2020) quienes encontraron que la variable NVP debido sus altos valores tanto en la correlación con rendimiento como en su efecto directo, representa una opción viable para la selección de genotipos superiores.

La correlación genética entre PVCG y Rendimiento mostró un grado de asociación alto y significativo (0.83) sin embargo, el efecto directo fue bajo (0.0064), indicando que la variable PVCG no contribuye al incremento en el rendimiento, en consecuencia, la correlación obtenida

entre las dos variables mencionadas esta más relacionada con los efectos indirectos, especialmente los de las variables PGV (0.69) y NVP (0.35) (Tabla 18, figura 4). Estos resultados sugieren que la variable PVCG no puede usarse con seguridad en la selección indirecta de líneas por rendimiento. Lo anterior concuerda con lo reportado por Riascos y Colaboradores (2020).

La variable NGV correlacionó de manera positiva y significativa con el rendimiento (0.37), sin embargo, esta correlación genética es relativamente baja y el efecto directo alto y negativo de -1.03 fue compensado, principalmente por los efectos indirectos de las variables PGV (1.25) y NVP (0.14), esta última en menor proporción (Tabla 18, figura 4). Este resultado sugiere que la variable NGV no debe recomendarse para la selección indirecta de genotipos de alto rendimiento. Al respecto Pantoja et al. (2014) mencionan que, si bien la variable NGV en su estudio no indicó altos valores en la correlación ni en el efecto directo, esto no siempre es un factor para descartarla en el proceso de selección, debido a que puede ser un carácter de interés para los cultivadores y consumidores de esta leguminosa.

Tabla 18.

Efectos directos e indirectos de la correlación genética entre rendimiento y sus componentes en la evaluación de 20 líneas de arveja arbustiva afila

		NVP	PVCG	NGV	PGV
Correlación Genética					
Rendimiento		0.9**	0.83**	0.37**	0.71**
Efecto directo		0.70	0.0064	-1.03	1.40
Efectos indirectos	NVP		0.35	0.14	0.25
	PVCG	0.003		0.013	0.003
	NGV	-0.20	-0.22		-0.94
	PGV	0.49	0.69	1.25	

El peso de grano por vaina (PGV), es una variable que tiene mucha importancia para los productores, porque en el mercado tiene mayor aprecio las vainas con granos grandes y pesados. Se obtuvo alta correlación genética entre PGV y rendimiento (0.71) con un efecto directo igualmente alto (1.40) el cual fue atenuado parcialmente por los efectos indirectos de NGV (-0.94) y PVG (0.25), sin embargo, su aporte a la correlación sugiere que la selección por PGV, contribuye a la obtención de líneas de arveja arbustiva de alto rendimiento (Tabla 16, figura 4). Khan y colaboradores (2017) afirman que el rendimiento es un carácter complejo y poligénico, la mejora genética del rendimiento puede lograrse simplemente a través de la selección indirecta de otro carácter asociado. En la presente investigación las variables NVP y PGV pueden ser utilizadas para realizar la selección indirecta de líneas con alto rendimiento.

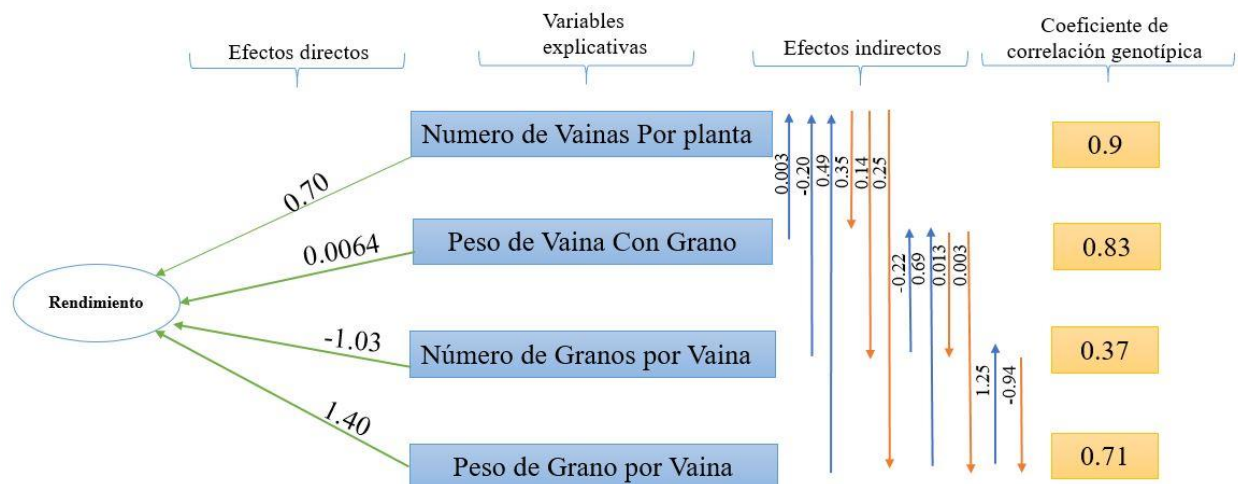


Figura 4. Diagrama de coeficiente de sendero del rendimiento en 20 líneas de arveja afila.

Conclusiones

- Para la variable NVP se destacaron a través de los ambientes, las líneas ARB3 y ARB19, para PVCG las líneas ARB15 y ARB16, para la variable NGV ARB3, ARB5, ARB12, ARB15 y ARB16, para la variable PGV ARB12, ARB15 y ARB16, para la variable RGV ARB12, ARB14 y ARB15 para la variable RTO ARB16 y ARB19 y para RTOS ARB2 y ARB16.
- El modelo Eberhart y Russell identificó a las líneas ARB3 y ARB19 como adaptables y predecibles a los cinco ambientes evaluados con promedios de rendimiento por encima de la media general.
- Los resultados del modelo AMMI y del índice de selección genotípica (GSI) permitieron seleccionar a las líneas ARB19, ARB15 y ARB3 por su rendimiento y adaptabilidad a los cinco ambientes evaluados.
- Las variables NVP y PGV pueden ser utilizadas para la selección indirecta de genotipos o líneas de alto rendimiento en los materiales evaluados.
- Las líneas ARB2, ARB3, ARB11, ARB15, y ARB19 presentaron un grado de moderadamente resistente a *A. pisi*, y mostraron altos rendimientos. Los materiales ARB2, ARB15, ARB16 y ARB19 superaron a la media general de rendimiento y obtuvieron moderada resistencia a *E. pisi*.

Referencias

- Abbott, L. A., Pistorale, S. M., & Filippini, O. S. (2007). Análisis de coeficientes de sendero para el rendimiento de semillas en *Bromus catharticus*. *Ciencia e investigación agraria*, 34(2), 141-149. <https://doi.org/10.4067/s0718-16202007000200007>
- Acevedo, M., Reyes, E., Castrillo, W., Torres, O., Marín, C., Álvarez, R., ... & Torres, E. (2010). Estabilidad fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos Lin-Binns y AMMI. *Agronomía tropical*, 60(2), 131-138.
- Aguilar, R., Rafael-Rutte, R., Martínez-Santos, H., & Apaza-Apaza, S. (2021). Agente causal de la antracnosis en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en el norte de Perú: Sintomatología, aislamiento e identificación, patogenicidad y control. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 7-14. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.001>
- Allard, R. W., & Bradshaw, A. D. (1964). Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding 1. *Crop science*, 4(5), 503-508. <https://doi.org/10.2135/cropsci1964.0011183x000400050021x>
- Almirón, P. (2015). Estimación de la variabilidad presente en materiales de arveja (*Pisum sativum* L.) para actualizar su uso y conservación mediante la creación de una colección núcleo. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Rosario. 191p.
- Álvarez, P., & Murillo, Á. (2020). Identificación de plantas mutantes con resistencia a *Ascochyta* spp en una población de arveja (*Pisum sativum* L.) desarrollada con radiación gamma. Memorias del II Simposio Latinoamericano de Aplicaciones Nucleares en la Agricultura. Quito, Ecuador. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i3.1918>
- Amarakoon, D., McPhee, K., & Thavarajah, P. (2012). Iron-, zinc-, and magnesium-rich field

- peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27(1), 8-13.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.05.007>
- Amin, A., Mushtaq, F., Singh, P., Wani, P., Spaldon, S., & Nazir, N. (2010). Genetics and breeding of pea. *International J. Current Research (IJCR)*.10:28-34
- Annicchiarico, P. (1992). Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in northern Italy. *Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46, 269-278.
- Annicchiarico, P., Nazzicari, N., Pecetti, L., Romani, M., & Russi, L. (2019). Pea genomic selection for Italian environments. *BMC genomics*, 20(1), 603.
<https://doi.org/10.1186/s12864-019-5920-x>
- Atta, B. M., Shah, T. M., Abbas, G., & Haq, M. A. (2009). Genotype x environment interaction for seed yield in kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes developed through mutation breeding. *Pak. J. Bot*, 41(4), 1883-1890.
- Baena, D., Escobar, J., & Muñoz, J. (1991). Metodologías para determinar la estabilidad y adaptabilidad. Univesidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias, Palmira 24p.
- Bahadur, L., & Devi, B. (2021). Estimation of correlation and path analysis coefficient among yield and yield attribution trails of field pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 1696-1699.
- Bastianelli, D., Grosjean, F., Peyronnet, C., Duparque, M., & Regnier, J. M. (1998). Feeding value of pea (*Pisum sativum*, L.) 1. Chemical composition of different categories of pea. *Animal Science*, 67(3), 609-619. <https://doi.org/10.1017/s1357729800033051>

- Bheri, M., Bhosle, S. M., & Makandar, R. (2019). Shotgun proteomics provides an insight into pathogenesis-related proteins using anamorphic stage of the biotroph, *Erysiphe pisi* pathogen of garden pea. *Microbiological research*, 222, 25-34.
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.02.006>
- Biddle, A. J. (2017). *Peas and beans* (Vol. 27). CABI.
- Biddle, A., Knott, C., & GENT, G. (1988). The PGRO pea growing handbook. Sixth edition. Processors and Growers Research Organization. England. 264 p.
- Biswas, T., Mazumdar, D., Das, A., Kumar, PD, Maji, A., Parihar, AK y Gupta, S. (2021).). Additive main effects and multiplicative interactions in field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes across the major agro-climatic zones in India. *Legume Research-An International Journal*, 44 (8), 894-899. <https://doi.org/10.18805/lr-4166>
- Blixt. S. (1972). Mutation genetics in *Pisum*. -*Agri Hort. Genet.* 30: 1-293.
- Bocianowski, J., Nowosad, K., & Tomkowiak, A. (2019a). Genotype–environment interaction for seed yield of maize hybrids and lines using the AMMI model. *Maydica*, 64(2), 8.
- Bocianowski, J., Warzecha, T., Nowosad, K., & Bathelt, R. (2019b). Genotype by environment interaction using AMMI model and estimation of additive and epistasis gene effects for 1000-kernel weight in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of applied genetics*, 60(2), 127-135. <https://doi.org/10.1007/s13353-019-00490-2>
- Bocianowski, J., Niemann, J., & Nowosad, K. (2019c). Genotype-by-environment interaction for seed quality traits in interspecific cross-derived Brassica lines using additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica*, 215(1), 1-13.
<https://doi.org/10.1007/s10681-018-2328-7>
- Bocianowski, J., Księżak, J. y Nowosad, K. (2019d). Interacción genotipo por ambiente para

- rendimiento de semillas en arveja (*Pisum sativum* L.) utilizando efectos principales aditivos y modelo de interacción multiplicativa. *Euphytica*, 215 (11), 1-10.
<https://doi.org/10.1007/s10681-019-2515-1>
- Buelvas Guzmán, M. E., & Muñoz Puche, M. C. (2020). Evaluación de las fuentes de variación para rendimiento en estudios de interacción genotipo x ambiente de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en el Caribe colombiano. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1849>
- Burbano Erazo, E., Domínguez Chauza, J. J., & Checa Coral, O. E. (2018). Effects of five planting density on pea lines *Pisum sativum* L. with the mutant gene afila. *Investigación Agraria*, 20(1), 22-29. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2018.junio.22-29>
- Burstin, J., Rameau, C., Bourion, V., & Tayeh, N. (2018). The PeaMUST project: defining ideotypes for the pea crop development. *OCL*, 25(6), D604.
<https://doi.org/10.1051/ocl/2018056>
- Cáceres, G. P., & Gelves, D. Y. M. (2013). La producción de arveja (*Pisum sativum*) en la vereda monte dentro, provincia de Pamplona, Norte de Santander. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 11(1), 43-56.
<https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2011.334>
- Cadena-Guerrero, M. M., Yepes-Chamorro, D. B., & Romero, J. V. (2021). Estabilidad fenotípica de arveja (*Pisum sativum* L.) en la zona productora de Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 841-853. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.41408>
- Camargo-Cepeda, D. F., & Ávila, E. R. (2014). Efectos del *Trichoderma* sp. sobre el crecimiento y desarrollo de la arveja (*Pisum sativum* L.). *Ciencia y Agricultura*, 11(1), 91-100.
<https://doi.org/10.19053/01228420.3492>
- Campbell, T., & Jones, M. (2005) Assessment of genotype x interactions for yield and fiber

- quality in cotton performance trials. *Euphytica* 144: 69-78. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-4336-7>
- Caracuta, V., Vardi, J., Paz, Y., & Boaretto, E. (2017). Farming legumes in the pre-pottery Neolithic: New discoveries from the site of Ahihud (Israel). *PloS one*, 12(5), e0177859. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177859>
- 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. <https://doi.org/10.22267/rcia.143102.29>
- Casseres, E. (1980). Producción de hortalizas. Instituto Interamericano de Ciencias Agrarias. 3ra Edición. San José de Costa Rica.
- Ceyhan, E., & Avci, M. A. (2005). Combining ability and heterosis for grain yield and some yield components in pea (*Pisum sativum* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 8(10). 1447-1452. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2005.1447.1452>
- Ceyhan, E., Kahraman, A., Ates, M., & Karadas, S. (2012). Stability analysis on seed yield and its components in peas. *Bulgarian Journal of Agricultural Sciences*. 18. 905-911.
- Checa Coral, O. E., & Blair, M. W. (2005). Correlaciones fenotípicas y genéticas entre componentes de capacidad trepadora y rendimiento en frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). *Fitotecnia Colombiana*. 2, 37-46.
- Checa Coral, O. E., Getial Pantoja, J. A., & Rodríguez Rodríguez, D. M. (2020a). Evaluación de ocho líneas de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) en seis ambientes de la zona cerealista de Nariño. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1211>
- Checa Coral, O. E., Rodríguez Rodríguez, D. M., Ruiz Eraso, M. H., & Muriel Figueroa, J. E.

- (2022). La Arveja-Investigación y Tecnología en el Sur de Colombia. LIBRO
- Checa, O., & Rodríguez, M., (2015). Resistencia a oídio (*Erysiphe polygoni*) y rendimiento en arveja afila (*Pisum sativum* L.). *Temas agrarios*. 20(2). 58-71.
<https://doi.org/10.21897/rta.v20i2.759>
- Checa, O., Bastidas, J., & Narvaéz, C. (2017). Evaluación agronómica y económica de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) en diferentes épocas de siembra y sistemas de tutorado. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* (Colombia). 20(2):279-288.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.380>
- Checa, O. E., Rodriguez, M., Wu, X., & Blair, M. W. (2020). Introgression of the Afila gene into climbing garden pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*, 10(10), 1537.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10101537>
- Cheng, A., Raai, M. N., Zain, N. A. M., Massawe, F., Singh, A., & Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I. (2019). In search of alternative proteins: unlocking the potential of underutilized tropical legumes. *Food Security*, 11(6), 1205-1215. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00977-0>
- Cousin, R., Messenger, A., Vingere, A. (1986). Breeding for yield in combining peas. Book "The pea crop". Butterworths. (5): 56-78 p.d. <https://doi.org/10.1016/b978-0-407-00922-6.50015-5>
- Cousin, R. (1997). Peas (*Pisum sativum* L.). *Field Crops Research*, 53(1-3), 111-130.
[https://doi.org/10.1016/s0378-4290\(97\)00026-9](https://doi.org/10.1016/s0378-4290(97)00026-9)
- Cruz, C. (2006). Programa GENES. Versao Windows. Aplicativo computacional en genética y estadística (en línea). Editorial UFV. Universidad Federal de Vicosa. Consultado 15 julio. 2021. Disponible en http://arquivo.ufv.br/dbg/genes/Genes_Br.htm.
- Cubero. J. y Moreno. M. (1983). Leguminosas de grano. Edición. Mundi Prensa. Madrid España.

- Das, A., Gupta, S., Parihar, A., Saxena, D., Singh, D., Singha, K., ... & Chandra, S. (2019). Deciphering genotype-by-environment interaction for targeting test environments and rust resistant genotypes in field pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in plant science*. 10. 825. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00825>
- Deitos, A., Arnhold, E., & Miranda, G.V. (2006) Yield and combining ability of maize cultiars under different ecogeographic conditions. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 6: 222-227. <https://doi.org/10.12702/1984-7033.v06n03a06>
- DeMason, D. A., & Chawla, R. (2004). Roles of auxin and Uni in leaf morphogenesis of the afila genotype of pea (*Pisum sativum*). *International Journal of Plant Sciences*, 165(5), 707-722. <https://doi.org/10.1007/s00425-009-0931-5>
- DeMason, D. A., Chetty, V., Barkawi, L. S., Liu, X., & Cohen, J. D. (2013). Unifoliata-Afila interactions in pea leaf morphogenesis. *American journal of botany*. 100(3). 478-495. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200611>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2015). Departamento Administrativo Nacional de Estadística. El cultivo de la arveja en Colombia. En: Departamento Administrativo Nacional de Estadística: Boletín mensual Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria Núm. 33. http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos31_mar_2015.pdf.
- Department of horticultural science. (1999). Vegetable cultivar descriptions for North America. University Raleigh. North Carolina State. 970 p.
- Devi, J., Dubey, R. K., Mishra, G. P., Sagar, V., Verma, R. K., Singh, P. M., & Singh, J. (2021). Inheritance and stability studies of multi-flowering trait in vegetable pea (*Pisum sativum*

- L.), and its contribution in yield improvement. *Scientia Horticulturae*, 287, 110235.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110235>
- Devi, J., Sanwal, S. K., Koley, T. K., Mishra, G. P., Karmakar, P., Singh, P. M., & Singh, B. (2019). Variations in the total phenolics and antioxidant activities among garden pea (*Pisum sativum* L.) genotypes differing for maturity duration, seed and flower traits and their association with the yield. *Scientia Horticulturae*, 244, 141-150.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.048>
- Devi, P.O., Pant, S.C., Rawat, S.S., Rana, D.K., & Singh, N.I.K. (2010). Correlation coefficient and genetic divergence analysis in pea. *Indian Journal of Horticulture* 67(Special Issue):160-165.
- Đorđević, R., Markovic, Z., Pesic, V., & DjinoVIC, I. (1994). The influence of "af af" genes on pea (*Pisum sativum* L.) pod formation. *Genetika (Yugoslavia). Center for Vegetable Crops*. 26(2):135 – 140
- Đorđević, R., Zdravković, J., Zečević, B., Cvikić, D., & Ivanović. M. (2004). Correlation of yield and yield components for afila and normal leave pea. *Pisum sativum* L. *Genetika*. 36(1). 39-45. <https://doi.org/10.2298/gensr0401039d>
- Duque-Zapata, J. D., Muñoz, J. E., & Checa-Coral, O. (2019). Molecular characterization with SSR markers for 50 genotypes of shrub peas (*Pisum sativum* L.) of the GRICAND Collection, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(2).
<https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i2.10177>
- Eberhart, S. T., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop science*, 6(1), 36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183x000600010011x>
- Ellis, T. H. N. (2011). *Pisum*. In *Wild crop relatives: genomic and breeding resources* (pp. 237-248). *Springer*, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14387-8_12

- Ellis, T. N., Hofer, J. M., Timmerman-Vaughan, G. M., Coyne, C. J., & Hellens, R. P. (2011). Mendel, 150 years on. *Trends in plant science*, 16(11), 590-596.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.06.006>
- Espinoza Romano, V. (2018). Construcción y análisis de los coeficientes de sendero. *Acta Nova*. 8(4). 517-535.
- Espitia, M., Araméndiz, T., & 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. <https://doi.org/10.31910/rudca.v10.n2.2007.585>
- FAOSTAT (2015). Available online: <http://faostat.fao.org>
- FAOSTAT (2020). Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Farshadfar, E. (2008). Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. *Pakistan Journal of biological sciences*, 11(14), 1791. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.1791.1796>
- Farshadfar, E., & Sutka, J. (2003). Locating QTLs controlling adaptation in wheat using AMMI model. *Cereal Research Communications*, 31(3), 249-256.
<https://doi.org/10.1007/bf03543351>
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas - FENALCE. (2010). El cultivo de arveja. historia e importancia. Consultado 1 de marzo de 2020. disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/14490141/el-cultivo-de-la-arveja-historia-e-importancia-fenalce/2>
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas – FENALCE. (2013). Hojas de arveja (En línea) disponible en: <http://www.fenalce.org/nueva/pg.php?pa=78>.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas - FENALCE. (2020). Indicador

- cerealista. Disponible En: <https://www.fenalce.org/archivos/indicerealista2020A.pdf>
- Fehr, W. R. (1987). Principles of cultivar development. Volume 1. Theory and technique. Macmillan publishing company.
- Ferreira, V., Grassi, E., Ferreira, A., Santo, H. D., Castillo, E., & Paccapelo, H. (2015). Genotype-environment interaction and stability of grain yield in triticales and tricepiros. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, ex Agro-Ciencia, 31(2), 93-104.
- Fierro, R. (2012). Estabilidad de 20 líneas de arveja voluble (*Pisum sativum* L). en cinco municipios del sur del departamento de Nariño (Doctoral dissertation, Tesis de Magister en Ciencias Agrarias Universidad de Nariño. Maestría en Ciencias Agrarias. Área de Énfasis Producción de cultivos. San Juan de Pasto.
- Finlay, K. W., and Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14, 742-754.
<http://dx.doi.org/10.1071/AR9630742>.
- Freiria, G. H., Gonçalves, L. S. A., Furlan, F. F., Fonseca Junior, N. D. S., Lima, W. F., & Prete, C. E. C. (2018). Statistical methods to study adaptability and stability in breeding lines of food-type soybeans. *Bragantia*, 77, 253-264. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017076>
- Goa, Y., & Mohammed, H. (2013). Genotype x environment interaction and yield stability in Field pea (*pisum sativum* L.) tested over different locations in Southern Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(19), 91-100.
- Goldenberg, JB. (1965). afila. a new mutation in pea (*Pisum sativum* L.). *Bol Genet* 1: 27–28.
- Goldman, I. L., Gritton, E. T., & Flannery, P. J. (1992). Evaluation of the Afila-Tendriled Acacia (afaf-tactac) Pea Foliage Type under Minimal Competition. *Crop science*, 32(4), 855-861.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183x003200040004x>

- González, F., & Ligarreto, G. (2006). Rendimiento de ocho genotipos promisorios de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) bajo sistema de agricultura protegida. *Fitotecnia Colombiana*. 6(2). 52-61.
- Grunvald, AK., Carvalho, CGP., Oliveira, ACB., & Andrade, CAB. (2008) Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de girassol no Brasil Central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43: 1483-1493. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2008001100006>
- Grupo para la evaluación de nuevas variedades de cultivos extensivos en España - GENVCE. (2008). Evaluación de nuevas variedades de guisantes en España. *Vida rural*. Pág. 3. <https://doi.org/10.31819/9783954872954-008>
- Guilioni, L., Wery, J., & Tardieu, F. (1997). Heat stress-induced abortion of buds and flowers in pea: is sensitivity linked to organ age or to relations between reproductive organs. *Annals of Botany*, 80(2), 159-168. <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0425>
- Hallauer, A., Carena, M., Miranda, J. (2010). Quantitative genetics in maize breeding. Ed. Springer Sc & Bus. Media. New York. 664p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0>
- Hanson, W. (1970). Genotypic stability. *Theor. Appl. Genet.* 40:226-231.
- Hargous, F. (2001). Sensorial and agronomical evaluation of seven pea's cultivars (*Pisum sativum* L.) for IQF freezing. FAO. *Agris*. 92p.
- Hebblethwaite, P. D., Heath, M. C., & Dawkins, T. C. (Eds.). (2013). *The pea crop: a basis for improvement*. Butterworth-Heinemann.
- Heinrich, G. M., Francis, C. A., & Eastin, J. D. (1983). Stability of Grain Sorghum Yield Components Across Diverse Environments 1. *Crop Science*, 23(2), 209-212. <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183x002300020004x>
- Herrera D. 2020. Evaluación de 20 líneas de arveja voluble (*Pisum Sativum* L.) con gen afila en

- cinco municipios del departamento de Nariño. Tesis de maestría. Universidad de Nariño. 82p.
- Hofer, J. M., & Ellis, T. N. (1998). The genetic control of patterning in pea leaves. Trends in *Plant Science*, 3(11), 439-444. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(98\)01332-6](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(98)01332-6)
- Huehn, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, 47, 189-194. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00024241>.
- Husičková, A., Humplík, J. F., Hýbl, M., Spíchal, L., & Lazár, D. (2019). Analysis of cold-developed vs. cold-acclimated leaves reveals various strategies of cold acclimation of field pea cultivars. *Remote Sensing*, 11(24), 2964. <https://doi.org/10.3390/rs11242964>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. (2004). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. departamento de Nariño. IGAC.
- Ito, D., Afshar, R. K., Chen, C., Miller, P., Kephart, K., McVay, K.. ... & Knox, M. (2016). Multienviromental evaluation of dry pea and lentil cultivars in Montana using the AMMI model. *Crop Science*. 56(2). 520-529. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.01.0032>
- Jannink, J. L., Liebman, M., & Merrick, L. C. (1996). Biomass production and nitrogen accumulation in pea, oat, and vetch green manure mixtures. *Agronomy Journal*, 88(2), 231-240. <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800020019x>
- Jeuffroy, M. H., Duthion, C., Meynard, J. M., & Pigeaire, A. (1990). Effect of a short period of high day temperatures during flowering on the seed number per pod of pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomie*, 10(2), 139-145. <https://doi.org/10.1051/agro:19900207>
- Jha, A. B., Gali, K. K., Alam, Z., Lachagari, V. R., & Warkentin, T. D. (2021). Potential application of genomic technologies in breeding for fungal and oomycete disease resistance in pea. *Agronomy*, 11(6), 1260. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061260>

- Jiang, Y., Lahlali, R., Karunakaran, C., Kumar, S., Davis, A. R., & Bueckert, R. A. (2015). Seed set, pollen morphology and pollen surface composition response to heat stress in field pea. *Plant, cell & environment*, 38(11), 2387-2397. <https://doi.org/10.1111/pce.12589>
- Jing, R., Vershinin, A., Grzebyta, J., Shaw, P., Smýkal, P., Marshall, D., & Flavell, A. J. (2010). The genetic diversity and evolution of field pea (*Pisum*) studied by high throughput retrotransposon based insertion polymorphism (RBIP) marker analysis. *BMC Evolutionary Biology*, 10(1), 1-20. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-10-44>
- Jintiach, U., & Miguel, I. (2016). Respuesta agronómica de tres variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) a la fertilización química y orgánica en la localidad de Laguacoto III. cantón Guaranda. provincia Bolívar (Bachelor's thesis. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Recursos Naturales y del Ambiente. Escuela Ingeniería Agronómica). <https://doi.org/10.33789/enlace.19.2.76>
- Joshi, P. K., & Rao, P. P. (2017). Global pulses scenario: status and outlook. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1392(1), 6-17. <https://doi.org/10.1111/nyas.13298>
- Karuniawan, A., Maulana, H., Ustari, D., Dewayani, S., Solihin, E., Solihin, M. A., ... & Arifin, M. (2021). Yield stability analysis of orange-Fleshed sweet potato in indonesia using AMMI and GGE biplot. *Heliyon*, 7(4), e06881. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06881>
- Khan, M. R. A., Mahmud, F., Reza, M. A., Mahbub, M. M., Shirazy, B. J., & Rahman, M. M. (2017). Genetic diversity, correlation and path analysis for yield and yield components of pea (*Pisum sativum* L.). *World Journal of Agricultural Sciences*, 13(1), 11-16.
- Kielpinski, M., & Blixt, S. (1982). The evaluation of the afila character with regard to its utility in new cultivars of dry pea. *Agri Hortique Genetica*, 40, 51-74.

- Kindie, Y., Bezabih, A., Beshir, W., Nigusie, Z., Asemamaw, Z., Adem, A., ... & Assres, F. (2019). Field pea (*Pisum sativum* L.) variety development for moisture deficit areas of eastern amhara, Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1398612>
- Kocer, A., & Albayrak, S. (2012). Determination of forage yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.) mixtures with oat and barley. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(1), 96-99.
- Koundinya, A. V. V., Ajeesh, B. R., Hegde, V., Sheela, M. N., Mohan, C., & Asha, K. I. (2021). Genetic parameters, stability and selection of cassava genotypes between rainy and water stress conditions using AMMI, WAAS, BLUP and MTSI. *Scientia Horticulturae*, 281, 109949. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109949>
- Krall, J. M. (2006). Pea production in the High Plains. Fact Sheet.: South Dakota State University Extension.
- Kreuzman, J., & Liska, M. (2006). Pea variety Terno. *Czech journal of genetics and plant breeding*. 42(2). 75. <https://doi.org/10.17221/6059-cjgpb>
- Kujala, V. (1953). Felderbse. bei welcher die ganz Blattspreite in ranken umgewandelt ist. *Arch.Soc.. Zool. Bot. Fenn. Vanamo*. 8 44-45.
- Laing, D. (1978). Adaptabilidad y estabilidad en el comportamiento de plantas de frijol comun. CIAT 24p
- Lanfond, G., Evans, L., & Khan, S. (1981). Comparison of near-isogenic leafed. leafless. semi-leafless. and reduced stipule lines of peas for yield and associated traits. *Canadian Journal of Plant Science*. 61(2): 463-465. <https://doi.org/10.4141/cjps81-063>
- Le May, C., Ney, B., Lemarchand, E., Schoeny, A., & Tivoli, B. (2009). Effect of pea plant architecture on spatiotemporal epidemic development of ascochyta blight (*Mycosphaerella*

- pinodes) in the field. *Plant Pathology*, 58(2), 332-343. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01947.x>
- Lenssen, A. W., Sainju, U. M., Jabro, J. D., Allen, B. L., & Stevens, W. B. (2018). Dryland pea production and water use responses to tillage, crop rotation, and weed management practice. *Agronomy Journal*, 110(5), 1843-1853. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0182>
- Ligarreto, M. G. A., & Ospina, H. A. R. (2009). Análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum* L.) tipo Santa Isabel. *Agronomía Colombiana*. 27(3). 333-339.
- Ligarreto, G. (2012). Arveja y guisante (*Pisum sativum* L.). Manual para el cultivo de hortalizas. Produmedios.
- Lin, C. S. and Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68, 193-198.
<http://dx.doi.org/10.4141/cjps88-018>
- Liu, R., Fang, L., Yang, T., Zhang, X., Hu, J., Zhang, H., ... & Zong, X. (2017). Marker-trait association analysis of frost tolerance of 672 worldwide pea (*Pisum sativum* L.) collections. *Scientific reports*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06222-y>
- López, J. E., & Ligarreto, G. A. (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.
- Ma, Y., Coyne, C. J., Grusak, M. A., Mazourek, M., Cheng, P., Main, D., & McGee, R. J. (2017). Genome-wide SNP identification, linkage map construction and QTL mapping for seed mineral concentrations and contents in pea (*Pisum sativum* L.). *BMC plant biology*, 17(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0956-4>

- Makasheva, R. (1983). The Pea. United States Department of Agriculture and the National Science Foundation. Washington. D. C. Pág 24.
- Maphosa, Y., & Jideani, V. A. (2017). The role of legumes in human nutrition, Functional Food- Improve Health through Adequate Food. Chapter, 6, 103-120.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.69127>
- Martin, I., Tenorio, J. L., & Ayerbe, L. (1994). Yield, growth, and water use of conventional and semileafless peas in semiarid environments. *Crop Science*, 34(6), 1576-1583.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183x003400060029x>
- Martínez, J. M. T., González, L. C., & Novoa, N. C. (2020). Evaluación de alternativas biológicas para el control de *Ascochyta* spp. en el cultivo de arveja, pamplona, Norte de Santander. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 11(1), 1-9.
<https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2020.353>
- Marx, G. A. (1987). A suite of mutants that modify pattern formation in pea leaves. *Plant Mol. Biol. Rep*, 5(31), 1-335. <https://doi.org/10.1007/bf02668994>
- McPhee, K. (2005). Variation for seedling root architecture in the core collection of pea germplasm. *Crop Science*, 45(5), 1758-1763. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0544>
- Mera, M., Levío, J., Alcalde, J., Morales, M., & Galdames, R. (1996). Brisca-INIA, primera variedad de arveja áfila obtenida en Chile. *Agricultura técnica*, 56(4), 282-286.
<https://doi.org/10.4067/s0365-28072007000300011>
- Mezlík, T., Měřínská, S. (2010). Field Pea. *Pisum sativum* L.; Central Institute for Supervising and Control in Agriculture: Brno. Czech.; 11p. (In Czech)
- Mihailović, V. M., & Mikić, A. M. (2004). Leaf type and grain yield in forage pea. *Genetika*, 36(1), 31-38. <https://doi.org/10.2298/gensr0401031m>

- Mihailović, V., & Mikić, A. (2010). Novel directions of breeding annual feed legumes in Serbia. In Proceedings, XII International Symposium on Forage Crops of Republic of Serbia, Kruševac, Serbia (Vol. 1, pp. 81-90).
- Mihailovic, V., Ellis, T. H., Duc, G., Lejeune-Henaut, I., Angelova, S., Mikic, A., & Cupina, B. (2008). Grain yield in winter and spring protein pea cultivars (*Pisum sativum* L.) with normal and afila leaf types. <https://doi.org/10.5937/ratpov1102275m>
- Mihailović, V., Mikić, A., Karagić, Đ., Katić, S., Pataki, I., & Matić, R. (2007). Seed yield and seed yield components in winter cultivars of four vetch (*Vicia* L.) species. In Breeding and seed production for conventional and organic agriculture. Proceedings of the XXVI meeting of the EUCARPIA fodder crops and amenity grasses section, XVI meeting of the EUCARPIA Medicago spp group, Perugia, Italy, 2-7 September 2006 (pp. 130-133). European Association for Research on Plant Breeding (EUCARPIA).
- Mishra, R. K., Chaudhary, S., Kumar, A., & Kumar, S. (2009). Effects of multifoliolate-pinna, afila, tendrill-less and unifoliata genes on leafblade architecture in *Pisum sativum*. *Planta*, 230(1), 177-190. <https://doi.org/10.1007/s00425-009-0931-5>
- Muñoz M. 2012. Interacción genotipo ambiente de 20 líneas de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) para cinco municipios de la zona sur del departamento de Nariño. Tesis de maestría. Universidad de Nariño. 131p.
- Murfet, I. C., & Reid, J. B. (1993). Developmental mutants. Peas: genetics, molecular biology and biotechnology., 165-216.
- Namorato, H., Miranda, GV, de Souza, LV, Oliveira, LR, DeLima, RO y Mantovani, EE (2009). Comparación de análisis biplot multivariados con el método de Eberhart y Russell para la interacción genotipo x ambiente. *Fitomejoramiento y biotecnología aplicada* , 9 (4).

- Nascimento, M., Peternelli, L. A., Cruz, C. D., Nascimento, A. C. C., Ferreira, R. P., Bhering, L. L. and Salgado, C. C. (2013). Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13, 152-156. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-70332013000200008>
- National Center for Biotechnology Information. (2020). Home – Taxonomy NCBI. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=3888&lvl=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/taxonomy>
- Nickerson, M. (2003). Dove. Guisante proteaginoso. Guisante de invierno. 2 p.
- Oda, MC., Sediya, T., Cruz, CD, Nascimento, M., y Matsuo, É. (2022). Adaptabilidad y estabilidad de rendimiento de genotipos de soya por medio de métodos de Eberhart y Russell, redes neuronales artificiales y centroide. *Ciencias Agronómicas y Biotecnología*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.24254/cnib.15.69>
- Pacheco, C; Vergara, H; 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
- Pandey, S., & Vargas, S. (1985). Interaccion genotipo-medio ambiente y su importancia en el mejoramiento intrapoblacional en las plantas cultivadas (No. CIS-893. CIMMYT.).
- Pantoja, D., Muñoz, K., & 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. <https://doi.org/10.22267/rcia.143102.29>
- Patiño, W. J., Valderrama, J. A., & Ñustez, C. E. (1997). Evaluación de nueve variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) para uso industrial, en la región de suba, Santafé de

Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 14(2), 108-118.

- Perales, A., Loli, O., Alegre, J., & Camarena, F. (2009). Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.). *Ecología Aplicada*, 8(1-2), 47-52.
- Pesic, V., Djordjevic, R., Kadhum, E., Jankovic, P., & Misic, D. (2013). Influence of the afila gene on grain yield in pea (*Pisum sativum* L.). *Bulgarian Journal of agricultural science*, 19(2), 186-193.
- Plaisted, R. L., & Peterson, L. C. (1959). A technique for evaluating the ability of selection the yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*, 36, 381-385. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02852735>.
- Podwojewski, P., Janeau, J. L., & Leroux, Y. (2008). Effects of agricultural practices on the hydrodynamics of a deep tilled hardened volcanic ash–soil (Cangahua) in Ecuador. *Catena*, 72(1), 179-190. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.05.003>
- Porceddu, E. (1970). The environmental component and the genotype x environment interaction in plant breeding. *Genetica Agraria*, 24, 129-44.
- PROMOSTA (Proyecto de Modernización de los Servicios de Tecnología Agrícola) (2005). El cultivo de la arveja 2 *Pisum sativum*. 13 p.
- Purchase, J. L., Hatting, H., & Van Deventer, C. S. (2000). Genotype× environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*, 17(3), 101-107. <https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878>
- Rad, M. N., Kadir, M. A., Rafii, M. Y., Jaafar, H. Z., Naghavi, M. R., & Ahmadi, F. (2013).

- Genotype environment interaction by AMMI and GGE biplot analysis in three consecutive generations of wheat (*Triticum aestivum*) under normal and drought stress conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 7(7), 956.
- Raj, R. N., Devi, C. P., & Gokulakrishnan, J. (2019). $G \times E$ interaction and stability analysis of maize hybrids using Eberhart and Russell model. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 12(1), 1-6.
- Rao, A., Prabhakaran, V. (2005). Use of AMMI in Simultaneous Selection of Genotypes for Yield and Stability. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*. 59(1), 76-82.
- Rea, R., Sousa-Vieira, O. D., Diaz, A., Ramón, M., Briceno, R., George, J., & Nino, M. (2014). Genotype-environment interaction in sugarcane by AMMI and site regression models in Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia*, 31(3), 362-376. <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n2.61790>
- Reid, J. B., & Ross, J. J. (2011). Mendel's genes: toward a full molecular characterization. *Genetics*, 189(1), 3-10. <https://doi.org/10.1534/genetics.111.132118>
- Resende, M. D. V. (2004). Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo. Colombo: Embrapa Florestas. <https://doi.org/10.11606/d.45.2003.tde-06062007-112551>
- Riascos Delgado, M. E., & Checa Coral, O. E. (2018). Evaluación y selección de líneas de arveja con gen afila bajo dos densidades de población. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 367-376. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.984>
- Riascos-Delgado, M. E., & Checa-Coral, O. E. (2020). Correlaciones genéticas en arveja (*Pisum sativum* L.) Tipo afila. *Agronomía Costarricense*, 44(2), 51-61. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i2.43089>
- Rosero V. 2021. Caracterización morfológica y adaptabilidad de arveja arbustiva (*Pisum*

- sativum* L) para la zona cerealista del departamento de Nariño. Tesis de maestría. Universidad de Nariño. 110p.
- Ruano Castillo, S. M. (2019). Evaluación agronómica de ocho líneas de arveja arbustiva en tres épocas de siembra en Pasto y Tangua.
- Rubiales, D., Emeran, A. A., & Flores, F. (2020). Adaptation of grass pea (*Lathyrus sativus*) to Mediterranean environments. *Agronomy*, 10(9), 1295.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10091295>
- Sánchez Arteaga, B. A. (2019). Evaluación de un bioactivador de resistencias como tratamiento preventivo contra antracnosis *Ascochyta pisi* Lib. en arveja *Pisum sativum* L. de crecimiento indeterminado en el Centro Experimental San Francisco Carchi-Ecuador (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica Estatal del Carchi).
- SAS, S. (2002). Software STAT, versión 9.4. SAS Institute Inc., Cary, Carolina del Norte, EE. UU
- Saxesena, R. R., Lal, G. M., Yadav, P. S., & Vishwakarma, M. K. (2013). Diversity analysis and identification of promising lines for hybridization in field pea (*Pisum sativum* L.). *The Bioscan*, 8(4), 1437-1440.
- Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., & Abbasian, A. (2017). Evaluation of genotype× environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice science*, 24(3), 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.001>
- Sharma, V. y Kumar, S. (2012). Las funciones de las estipulaciones incluyen la determinación del tiempo de floración y el índice de cosecha de vainas en la leguminosa *pisum sativum* de grano de guisante de jardín. *Letras de Ciencias de la Academia Nacional*, 35 (5), 449-456.
- Sharma, G., Aminedi, R., Saxena, D., Gupta, A., Banerjee, P., Jain, D., & Chandran, D. (2019). Effector mining from the *Erysiphe pisi* haustorial transcriptome identifies novel candidates

- involved in pea powdery mildew pathogenesis. *Molecular plant pathology*, 20(11), 1506-1522. <https://doi.org/10.1111/mpp.12862>
- Siddika, A., Islam, A. K. M. A., Rasul, M. G., Mian, M. A. K., & Ahmed, J. U. (2013). Genetic variability in advanced generations of vegetable pea (*Pisum sativum* L.). *International Journal of Plant Breeding*, 7(2), 124-128. <https://doi.org/10.3329/bjpbg.v27i1.23972>
- Siddique, A. B., Wright, D., & Mahbub, S. M. (2002). Effects of sowing dates on the phenology, seed yield and yield components of peas. *Journal of Biological Sciences*, 2(5), 300-303. <https://doi.org/10.3923/jbs.2002.300.303>. <https://doi.org/10.3923/jbs.2002.300.303>
- Singh, A., Singh, S., & Babu, J. D. P. (2011). Heritability, character association and path analysis studies in early segregating population of field pea (*Pisum sativum* L. var. arvense). *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 5(1), 86-92. <https://doi.org/10.3923/ijpbg.2011.86.92>
- Singh, M., Upadhyaya, H. D., & Bisht, I. S. (Eds.). (2013). *Genetic and genomic resources of grain legume improvement*. Newnes. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-397935-3.00001-3>
- Singh, S., Singh, B., Sharma, V. R., Verma, V., & Kumar, M. (2019). Character association and path analysis in diverse genotypes of pea (*Pisum sativum* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 8(2), 706-713. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.802.082>
- Smartt, J. (1990). *Grain legumes: evolution and genetic resources*. Cambridge university press.
- Smýkal, P., Aubert, G., Burstin, J., Coyne, C. J., Ellis, N. T., Flavell, A. J., ... & Warkentin, T. D. (2012). Pea (*Pisum sativum* L.) in the genomic era. *Agronomy*, 2(2), 74-115. <https://doi.org/10.3390/agronomy2020074>
- Smýkal, P., Coyne, C., Redden, R., & Maxted, N. (2013). Peas. In *Genetic and genomic resources of grain legume improvement* (pp. 41-80). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978->

0-12-397935-3.00003-7

- Smýkal, P., Hýbl, M., Corander, J., Jarkovský, J., Flavell, A. J., & Griga, M. (2008). Genetic diversity and population structure of pea (*Pisum sativum* L.) varieties derived from combined retrotransposon, microsatellite and morphological marker analysis. *Theoretical and Applied Genetics*, 117(3), 413-424. <https://doi.org/10.1007/s00122-008-0785-4>
- Smýkal, P., Kenicer, G., Flavell, A. J., Corander, J., Kosterin, O., Redden, R. J., ... & Ellis, N. T. (2011). Phylogeny, phylogeography and genetic diversity of the *Pisum* genus. *Plant Genetic Resources*, 9(1), 4-18. <https://doi.org/10.1017/s147926211000033x>
- Solovieva, VK. (1958). New varieties of shelling peas. *Agrobiologiya* 5: 124–126.
- Souza, L. V. D., Miranda, G. V., Galvão, J. C. C., Eckert, F. R., Mantovani, É. E., Lima, R. O., & Guimarães, L. J. M. (2008). Genetic control of grain yield and nitrogen use efficiency in tropical maize. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43, 1517-1523. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2008001100010>
- Sun, K., Hunt, K., & Hauser, B. A. (2004). Ovule abortion in *Arabidopsis* triggered by stress. *Plant Physiology*, 135(4), 2358-2367. <https://doi.org/10.1104/pp.104.043091>
- Syrový, L. D., Banniza, S., & Shirtliffe, S. J. (2015). Yield and agronomic advantages of pea leaf type mixtures under organic management. *Agronomy Journal*, 107(1), 113-120. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0218>
- Tafesse, E. G., Warkentin, T. D., & Bueckert, R. A. (2019). Canopy architecture and leaf type as traits of heat resistance in pea. *Field Crops Research*, 241, 107561. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107561>
- Tao, A., Afshar, R. K., Huang, J., Mohammed, Y. A., Espe, M., & Chen, C. (2017). Variation in yield, starch, and protein of dry pea grown across Montana. *Agronomy Journal*, 109(4),

1491-1501. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.07.0401>

- Tena, E., Goshu, F., Mohamad, H., Tesfa, M., Tesfaye, D., & Seife, A. (2019). Genotype× environment interaction by AMMI and GGE-biplot analysis for sugar yield in three crop cycles of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) clones in Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1651925. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1651925>
- Tiemerman, V., Mills, G., Frew, T., Butler, T., Mccallum, J., Murray, C., Whitfield, A., Rusell, A., & Wilson, D. (2004). Linkage mapping of QTLs for seed yield, yield components and developmental traits in pea (*Pisum sativum* L.). En: 4th International Crop Science Congress. Brisbane. Australia. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0436>
- Tivoli, B. (2009). Studies on ascochyta blight on pea in France: epidemiology and impact of the disease on yield and yield components. *Grain Legum* 52: 14–15.
- Tolessa, T. T., Keneni, G., Sefera, T., Jarso, M., & Bekele, Y. (2013). Genotype× environment interaction and performance stability for grain yield in field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes. *International Journal of plant breeding*, 7(2), 116-123.
- Torres-Martínez, F. J., Rivadeneira-Miranda, C. N., & Castillo-Marín, Á. J. (2020). Producción y comercialización de arveja en el departamento de Nariño-Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 129-140. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36776>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA. (2019). Zonificación de tierras con fines agropecuarios para el departamento de Nariño escala 1:100.000. Recuperado el 17 de Junio de 2020, de <http://www.upra.gov.co>
- Upadhyaya, H. D., Dwivedi, S. L., Ambrose, M., Ellis, N., Berger, J., Smýkal, P., ... & Gowda, C. L. L. (2011). Legume genetic resources: management, diversity assessment, and utilization in crop improvement. *Euphytica*, 180(1), 27-47. <https://doi.org/10.1007/s10681->

011-0449-3

- Valencia, A., Ch, Y. T., & Checa, O. (2012). Evaluacion de 20 lineas de arveja (*Pisum sativum* L.) y su reacción al complejo de *Ascochyta*. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(2), 39-52.
- Vallejo, F. A., & Estrada, E. I. (2002). Mejoramiento genético de plantas. *Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia*.
- Vallejo, F. A., Espitia, M., Checa, O., Lagos, T. C., Salazar, F., & Restrepo, E. (2005). *Análisis estadístico para los diseños genéticos en fitomejoramiento* (No. Doc. 27031) CO-BAC, Bogotá).
- Vargas, E.A., Vargas, J.E., & Baena, D. (2016). Análisis de estabilidad y adaptabilidad de híbridos de maíz de alta calidad proteica en diferentes zonas Agroecológicas de Colombia. *Acta Agronómica*, 65 (1), 72-79. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n1.43417>
- Vencovsky, R., & Barriga, P. (1992). Genética biométrica no fitomelhoramento.
- Vladan, P., Radisa, D., Pedja, M., & Predrag, J. (2013). Influence of the afila gene on grain yield in pea (*Pisum sativum* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 8(16), 1513-1519.
- Wang, N., Daun, J. K., & Malcolmson, L. J. (2003). Relationship between physicochemical and cooking properties, and effects of cooking on antinutrients, of yellow field peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(12), 1228-1237. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1531>
- Warkentin, T., Klassen, E., Bing, D., Lopetinsky, K., Kostiuk, J., Barlow, B., & Vandenberg, A. (2009). CDC Tucker and CDC Leroy forage pea cultivars. *Canadian journal of plant science*. 89(4). 661-663. <https://doi.org/10.4141/cjps09009>
- Warkentin, T. D., Smýkal, P., Coyne, C. J., Weeden, N., Domoney, C., Bing, D. J., ... & Ellis, T. H. N. (2015). Pea. In *Grain legumes* (pp. 37-83). Springer, New York, NY.

https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2797-5_2

Wricke, G. (1965). Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. *Zeitschrift Fur Pflanzenzuchtung-Journal of Plant Breeding*, 52(2), 127.

Wu, X., Li, N., Hao, J., Hu, J., Zhang, X., & Blair, M. W. (2017). Genetic diversity of Chinese and global pea (*Pisum sativum* L.) collections. *Crop Science*, 57(3), 1574-1584.

<https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0271>

Yadav, P., Singh, A. K., & Srivastava, C. P. (2010). Genetic variability and character association in diverse collection of Indian and exotic germplasm lines of pea (*Pisum sativum* L.). *Vegetable Science*, 37(1), 75-77.

Yan, W., & Kang, M. S. (2002). *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420040371>

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnics, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop science*, 40(3), 597-605.

<https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>

Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop science*, 47(2), 643-653.

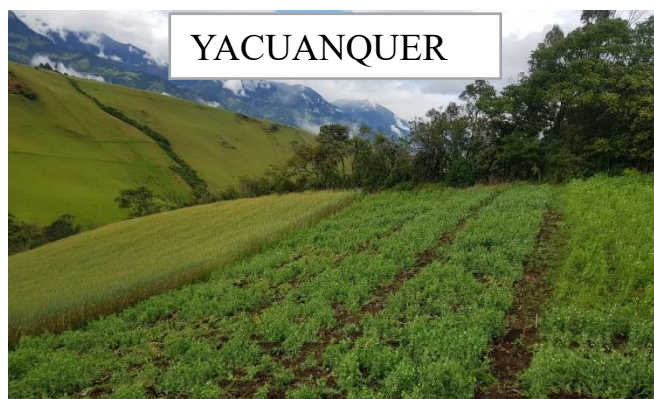
<https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374>

Zobel, R. W., Wright, M. J., & Gauch Jr, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy journal*, 80(3), 388-393.

<https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x>

Anexos

Anexo A. Establecimiento de experimentos en cinco localidades del departamento de Nariño.



Anexo B.
de las



Resultados

puntuaciones para la graficación del Biplot para rendimiento en vaina verde (t.ha⁻¹) de 20 líneas de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) en cinco municipios del departamento de Nariño.

Nombre	Rendimiento	CP1	CP2	CP3
ARB1	10.346	1.27819	0.39066	1.11157
ARB2	15.3655	-0.8545	1.51044	-0.30357
ARB3	13.83	-0.32829	-0.26156	-0.47448
ARB4	12.3325	1.98889	-0.39709	0.09943
ARB5	10.353	-0.44663	1.00801	1.15302
ARB6	13.0535	1.2424	0.35047	-0.75279
ARB7	13.9025	-0.97893	-1.32573	1.10941
ARB8	12.5725	0.9808	-0.18399	0.0742
ARB9	12.4825	-0.29295	-0.48044	0.13904
ARB10	13.9445	-0.82986	0.05734	0.53251
ARB11	13.5145	0.64081	-0.65652	-0.50749

ARB12	13.8555	0.51145	1.10019	-0.48538
ARB13	14.6595	-0.60168	-1.07349	-0.77894
ARB14	12.31	-0.15775	0.42464	0.45225
ARB15	15.2085	-0.35459	1.0052	-0.32648
ARB16	16.133	-1.30839	-0.22267	0.29521
ARB17	11.1855	0.28054	-0.17287	-0.02392
ARB18	12.5385	-1.16849	-0.0174	-0.92027
ARB19	15.0705	-0.26816	-0.40184	-0.59104
ARB20	9.7155	0.66716	-0.65337	0.19773
Guaitarilla	17.2584	-1.38865	2.51211	-0.71974
Ospina	6.3641	-0.10118	-0.63355	1.31813
Pasto	20.8176	3.09611	-0.16835	-1.20314
Tangua	17.7123	-2.00906	-1.92152	-1.08439
Yacuanquer	3.4419	0.40278	0.21131	1.68913
