

**Evaluación de la fertilización NPK sobre genotipos de arveja (*Pisum sativum* L.) en el
departamento de Nariño**

Carlos Jacobo Ruano Guerrero

Universidad de Nariño

Centro de Investigaciones en Ciencias Agrarias

Maestría en Ciencias Agrarias con Énfasis en Producción de Cultivos

San Juan de Pasto

2021

**Evaluación de la fertilización NPK sobre genotipos de arveja (*Pisum sativum* L.) en el
departamento de Nariño**

Carlos Jacobo Ruano Guerrero

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en Producción de Cultivos**

Presidente de tesis:

Hugo Ruiz Eraso 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

2021

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

Hernán Burbano Orjuela Ph.D.

Jurado (Delegado)

Jorge Vélez Lozano Ph. D.

Jurado

Carlos Andres Benavides Ph.D. (c)

Jurado

Hugo Ruiz Eraso Ph.D.

Presidente

San Juan de Pasto, septiembre de 2022

Dedicatoria

A Dios, por mostrarme el camino

A mi esposa Ximena por su amor incondicional

*A mis hijos Juan Felipe y Alana Isabhella por ser fuente de energía y brindarme su valioso
tiempo para la culminación de este proyecto*

A mi madre Alba mujer valiente y guerrera por enseñarme un buen camino

A mi padre por enseñarme con hechos la definición de honradez y humildad

A mis hermanos porque siempre están allí con la palabra adecuada y un corazón gigante

Agradecimientos

A mi asesor, doctor Hugo Ruiz por su valiosa colaboración.

Al profesor Marino Rodríguez, por brindarme su amistad y conocimiento.

Al doctor Oscar Checa Coral por la oportunidad de hacer parte de su equipo de trabajo.

*A todos los integrantes del grupo de investigación en cultivos andinos GRICAND, por su
colaboración en el desarrollo de este proyecto.*

A Jaime Humberto López por su amistad y colaboración Q.E.P.D.

*Al Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado en Ciencias Agrarias, por la
posibilidad de expandir mis fronteras*

A mi Universidad de Nariño mi alma máter

El conocimiento nos hace expandir nuestro horizonte brindándonos mejores perspectivas

Resumen

El departamento de Nariño el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) registró para el año 2020 un total de 15.490 hectáreas y una producción de 78.303 toneladas con una participación del 53% de la producción nacional, catalogándose como uno de los cultivos más importantes para la región. El crecimiento de esta leguminosa se debe principalmente en el mejoramiento genético de los últimos años el cual consecuentemente ha derivado en el lanzamiento de nuevas variedades, haciendo necesario investigar sobre los niveles de fertilización que se ajusten a estos nuevos materiales y que les permita alcanzar el potencial productivo. Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio se centró en evaluar diferentes niveles de fertilización sobre variedades comerciales y líneas afila, a través, de la evaluación de variables de rendimiento y una comparación a nivel económico. La investigación se llevó a cabo en el municipio de Ipiales, bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones, donde se evaluó la interacción de cinco materiales, tres variedades comerciales (Alcalá, San Isidro y Sureña) y dos líneas con gen afila (L3 y L28) y seis niveles de fertilización (225-30-105, 188-25-88, 150-20-70, 113-15-53, 75-10-35 y 176-0-0 kg ha⁻¹). Los resultados mostraron que variables como el número de granos por vaina y número de vainas por planta presentan resultados diferenciales que dependen del genotipo y el tipo de fertilización que se usa, por su parte, la relación grano vaina depende solamente del genotipo que usado y el rendimiento presenta un comportamiento diferencial que depende de la interacción de los dos factores (genotipo y nivel de fertilización), donde la línea L3 en interacción con el nivel 176-0-0 presentó el rendimiento más alto con una media de 16.86 t ha⁻¹, además de ser el más rentable según el análisis económico.

Palabras claves: Fertilidad, nutrición, leguminosa, genotipos.

Abstract

In the department of Nariño, the pea cultivation (*Pisum sativum* L.) registered for 2020 a total of 15,490 hectares and a production of 78,303 tons with a participation of 53% of the national production, cataloging itself as one of the most important crops for the region. The growth of this legume is mainly due to the genetic improvement of recent years which has consequently resulted in the launch of new varieties, which makes it necessary to investigate the levels of fertilization that are adjusted to these new materials and that allow them to reach the productive potential. Taking into account the above, this study focused on evaluating different levels of fertilization on commercial varieties and afila lines that are a potential resource for genetic improvement of this species, through the evaluation of different performance variables and subsequently an economic analysis. The research was carried out in the municipality of Ipiales on Yanalá district, where a randomized complete block design was used with an arrangement in divided plots with four replications, where the interaction of five materials, three commercial varieties (Alcalá, San Isidro and Sureña) and two lines with the afila gene (L3 and L28) and six levels of fertilization (225-30-105, 188-25-88, 150-20-70, 113-15-53, 75-10-35 and 176-0-0 kg ha⁻¹). The results showed that variables such as the number of grains per pod and the number of pods per plant present differential results that depend on the genotype and the type of fertilization used, on the other hand, the grain-pod ratio depends only on the genotype used and the yield presents a differential behavior that depends on the interaction of the two factors (genotype and fertilization level), where the L3 line in interaction with the 176-0-0 level presented the highest yield with an average of 16.86 t ha⁻¹, besides being the most profitable according to the economic analysis.

Key words: Fertility, nutrition, leguminous, andisol, Vitrandic Dystrustepts.

Contenido

	pág.
Introducción.....	14
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos	15
2. Marco Teórico	15
2.1 Generalidades cultivo de arveja	15
2.2 Genotipos empleados	16
2.2.1 Variedad Obonuco San Isidro.....	16
2.2.2 Variedad Alcalá	16
2.2.3 Variedad Sureña	17
2.2.4 Genotipos Afila	17
2.3 Generalidades macronutrientes NPK.....	18
2.3.1 Nitrógeno.....	18
2.3.2 Fosforo.....	18
2.3.3 Potasio	19
2.4 Fertilización del cultivo de arveja.....	20
2.5 Análisis de presupuesto parcial - APP	22
2.5.1 Componentes APP.....	23
3. Metodología.....	24
3.1 Localización.....	24
3.2 Análisis de suelo	24
3.3 Material vegetal	25

3.4	Diseño experimental	26
3.5	Variables evaluadas	27
3.5.1	Número de grano por vainas (NGV)	27
3.5.2	Número de vainas por planta (NVP)	28
3.5.3	Peso de vaina con grano (PVCG).....	28
3.5.4	Relación grano vaina (R/V).....	28
3.5.5	Rendimiento en verde (RTOV)	28
3.6	Análisis estadístico	28
3.7	Análisis económico de presupuesto parcial	29
4.	Resultados y discusión	29
4.1	Número de Granos Por Vaina (NGV).....	30
4.2	Número de vainas por planta (NVP).....	33
4.3	Relación grano vaina (G/V).....	35
4.4	Rendimiento en verde (RTOV).....	35
2.3	Análisis económico presupuesto parcial para genotipos por nivel de fertilización	40
	Conclusiones.....	45
	Referencias	46

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Extracción de nutrientes cultivo de arveja.....	20
Tabla 2. Descripción de las condiciones físico químicas del suelo, vereda Yanalá, municipio de Ipiales. Nariño, Colombia. 2019.....	24
Tabla 3. Descripción de los cinco genotipos evaluados	25
Tabla 4. Niveles de fertilización de NPK del cultivo de arveja para producir 10 t ha ⁻¹ y recomendación basada según el análisis de suelo.	27
Tabla 5. Prueba de normalidad Shapiro-Wilks para las variables evaluadas.	29
Tabla 6. Cuadrado medio de las variables rendimiento en vaina verde (RTOV), número de vainas por planta (NVP), peso de vaina con grano (PVCG), número de granos por vaina (NGV) y relación grano vaina (G/V). Yanalá. Ipiales 2019.....	30
Tabla 7. Comparación de promedios de las variables número de vainas por planta (NVP), peso de vainas con grano (PVCG), número de granos por vaina. (NGV) y relación grano vaina (RGV) de genotipos de arveja. Yanalá. Ipiales. 2019.	32
Tabla 8. Comparación de promedios de las variables, número de vainas por planta (NVP), peso de vaina con grano (PVCG), numero de granos por vaina (NGV) y relación grano vaina (RGV), por nivel de fertilización. Yanala. Ipiales. 2019.....	33
Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Tukey para la interacción genotipo por nivel de fertilización en la variable rendimiento.	39
Tabla 10. Costos por nivel de fertilización, Yanala, Ipiales 2019.....	40
Tabla 11. Costos variables e ingresos netos para niveles de fertilización por genotipos de arveja.....	42

Tabla 12. Análisis de dominancia para 8 tratamientos seleccionados en la interacción Genotipos por Nivel de fertilización para realizar el análisis económico de Presupuesto Parcial de Hernández (2001).	43
Tabla 13. Tasa de Retorno Marginal (TRM) para los tratamientos No Dominados	44

Lista de figuras

Figura 1. Grafica de interacción entre genotipos y niveles de fertilización para la variable rendimiento en verde (RTOV)	38
---	----

Introducción

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una de las leguminosas más importantes en Colombia y es considerada como un factor estabilizador de la economía y seguridad alimentaria de los productores de hortalizas de las zonas andinas (Osorio y Castaño, 2011). El departamento de Nariño cuenta con 255.085 hectáreas aptas para este cultivo (UPRA, 2019), de aquí que al departamento se lo reporta como el mayor productor de esta hortaliza a nivel nacional, en este sentido, la Encuesta Nacional Agropecuaria (2019) reportó en el primer semestre del año 2019 un área total sembrada con hortalizas, verduras y legumbres de 146.318 hectáreas, de las cuales 21.655 correspondieron al cultivo de arveja y para el año 2020 se registró un total de 15.490 hectáreas sembradas con una producción de 78.303 toneladas con una participación del 53% de la producción nacional (FENALCE, 2020).

A pesar de la notoria importancia de este cultivo para la economía local y nacional, los estudios para determinar los requerimientos nutricionales para las nuevas variedades son escasas, causando un inadecuado manejo de los recursos, según Jojoa (2017), los productores adoptan de forma empírica recomendaciones de fertilización correspondientes a otros cultivos. En este mismo sentido, tradicionalmente, se emplean dosis de entre 200 a 800 kg ha⁻¹ de 10-30-10 o 13-26-6, sin tener en cuenta los requerimientos del cultivo, ni las propiedades físico químicas del suelo.

Teniendo en cuenta lo anterior esta investigación se centró en evaluar diferentes niveles de fertilización NPK sobre cinco genotipos de arveja y su efecto sobre los componentes de rendimiento, con el fin de contribuir al conocimiento sobre el manejo eficiente de fertilizantes a nivel técnico y económico.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Contribuir al conocimiento del manejo eficiente del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) con el uso óptimo de dosis de fertilizantes en el municipio de Ipiales.

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de seis niveles de fertilización completa con nitrógeno, fosforo y potasio sobre los componentes de rendimiento de cinco genotipos de arveja.
- Evaluar la interacción de la fertilización NPK con los genotipos estudiados.
- Realizar análisis económico de los resultados obtenidos.

2. Marco Teórico

2.1 Generalidades cultivo de arveja

En Colombia, el cultivo de arveja ha sido un cultivo de importancia en la economía de pequeños y medianos agricultores de la zona andina del país (Zamorano et al., 2008), esto teniendo en cuenta que es una fuente generadora de empleo, se estima que genera más de 960.000 empleos directos al año, donde se involucran cerca de 26.000 productores, empleando al año cerca de 2.5 millones de jornales los cuales se desarrollan su trabajo en todo el ciclo del cultivo, es decir, desde la siembra hasta la comercialización Casanova et al. (2012).

El área sembrada en Colombia de este cultivo según el DANE (2019) está estimada en 34.172 hectáreas y la producción según (FENALCE, (2020) para el año 2019 fue de 131.634 toneladas, resaltando la importancia de este cultivo a nivel nacional donde los departamentos con mayor participación fueron Nariño (49%), Cundinamarca (22.8%) y Boyacá (19.9%).

Dentro del departamento de Nariño se destacan como los mayores productores los municipios de Ipiales, Contadero, Gualmatán y Potosí (DANE, 2017). El impacto que ha tenido el cultivo a través del tiempo se debe principalmente a la introducción del sistema de siembra tutorado y el uso de variedades mejoradas las cuales en el departamento alcanzan rendimientos entre 10 y 15 t ha⁻¹ con granos de mejor calidad y menos sensibles a daños mecánicos por transporte (Checa, 2017).

2.2 Genotipos empleados

2.2.1 Variedad Obonuco San Isidro

Se adapta a la zona Andina, departamento de Nariño a altitudes entre 2600 a 2900 msnm. Con rendimientos en grano verde de 3.510 kg ha⁻¹ en verde y 1.749 kg ha⁻¹ en grano seco. Con el lanzamiento de la variedad Obonuco San Isidro se fueron perfeccionando las labores de tutorado en el sur del departamento de Nariño, implementando materiales de menores costos como varas en lugar de postes de madera, fibra de polipropileno grueso remplazando el alambre galvanizado, dándole al cultivo mayor rentabilidad y estabilidad agronómica (Checa & Blair, 2005).

2.2.2 Variedad Alcalá

Se adapta a subregión natural de altiplanos de Cundinamarca y Boyacá, 2.100 – 2.800 msnm y subregión natural de Nariño (2.500 – 2.900 msnm), es moderadamente resistente a antracnosis *Collectotricum pisi* y a *Ascochyta pisi*; con arquitectura de menor agresividad con relación a las variedades Andina, San Isidro y Sindamanoy; con rendimiento experimental de 12.9 t ha⁻¹ en verde (Checa et al., 2012).

2.2.3 Variedad Sureña

Se adapta a la subregión de área fría para alturas mayores a 2.200 msnm en el departamento de Nariño. Presenta un rendimiento experimental de 14.9 t ha⁻¹ en verde; de igual forma que Alcalá presenta moderada resistencia a *Collectotricum pisi* y a *Ascochyta pisi* (Checa et al., 2012b).

2.2.4 Genotipos Afila

Se trata de un logro de la genética, de una mutación en virtud de la cual las plantas carecen casi de todo el follaje, presentando, numerosos zarcillos; éstos permiten que las plantas se mantengan erectas y se apoyen entre sí, hasta la cosecha, configurando una estructura abierta, con buena aireación, dando poca sombra a las vainas (Giacconi & Escafe, 1988). Cote et al., (1992) afirma que los zarcillos jóvenes permiten obtener igual ganancia de carbono a una hoja joven de arveja, sin embargo, los procesos de producción de fotosintetizados pueden verse afectado en la etapa de madurez de los zarcillos, puesto que la actividad fotosintética disminuye en un 70%.

El Grupo de Cultivos Andinos GRICAND, ha obtenido resultados promisorios de líneas con gen afila provenientes de retrocruzamiento, entre las variedades comerciales Andina, San Isidro y Sindamanoy y las líneas donantes del gen afila Dove, ILS3575 y ILS3568. (Riascos, M., Checa. O. 2018) que se estudiaron dentro del marco del proyecto financiado por el Sistema General de Regalías SGR denominado “Investigación para el mejoramiento de la tecnología de producción de arveja (*Pisum sativum* L.) en el departamento de Nariño”.

2.3 Generalidades macronutrientes NPK

2.3.1 Nitrógeno

El nitrógeno es un nutriente de gran valor en prácticamente todos los ecosistemas, la gran reserva de nitrógeno en el suelo ocurre en forma orgánica, como parte de la materia orgánica del suelo, la mineralización de la materia orgánica libera N inorgánico el cual constituye la principal fuente de N para las plantas en muchos sistemas agrícolas. La planta absorbe N del suelo principalmente en forma de nitrato (NO_3^-), pero también puede absorber en forma de amonio (NH_4^+). Este nutriente es muy móvil dentro de la planta. En su mayoría el N se mueve en el suelo por flujo de masa, es decir el movimiento es mediado por el movimiento del agua a través del suelo hacia la raíz de las plantas (Cantarella, 2007; Steudle & Peterson, 1998). Entre las funciones que el nitrógeno desempeña en la planta está formar parte de las proteínas, clorofila y enzimas responsables de regular el crecimiento y la formación del material vegetal.

2.3.2 Fosforo

El fosforo es absorbido por la planta principalmente como ion ortofosfato primario (HPO_4), pero también se absorbe como ion fosfato secundario (HPO_4) por medio de difusión a través de gradientes de concentración en la solución del suelo y en la raíz de la planta. Es un elemento poco móvil en el suelo debido a sus reacciones de fijación a las superficies de arcillas y óxidos y el recambio biológico dado por procesos de mineralización-inmovilización y solubilización dependientes de la actividad microbiana. Este nutriente forma parte de las nucleoproteínas lipoides y fosfolípidos. Además, desempeña un importante papel metabólico en la respiración y fotosíntesis (fosforilación), en el almacenamiento y la transferencia de energía (NAD, NADP y ATP) y en la división y

crecimiento celular. El P se acumula en partes de la planta en crecimiento y en las semillas. Es determinante para el desarrollo de las raíces y de los tejidos meristemáticos, por lo cual es importante durante el desarrollo vegetativo de los pastos. El P es absorbido del suelo como iones de H_2P_4^- y HPO_4^{2-} (Balta Crisólogo et al., 2015; Stevenson F.J. & Cole, 1999).

El fósforo presenta problemas de fijación, en su mayoría por suelos dominados por complejos humus-Al que al parecer tienen un mayor potencial de fijación de este elemento, esta situación se presenta, especialmente en suelos andisoles lo que está relacionado con la presencia de diferentes materiales en la fracción arcilla como resultado de las diferentes condiciones de meteorización de la ceniza volcánica, siendo esta la principal limitación química de este tipo de suelos, lo cual puede variar dependiendo del tipo de arcilla presente lo que influye sobre el efecto residual de las aplicaciones de fosfato (Espinosa, 1987).

2.3.3 Potasio

El potasio es uno de los elementos esenciales más abundantes en la corteza terrestre, este es absorbido por la planta en forma de ion K^+ , presenta una movilidad media en el suelo, su movimiento hacia la planta se puede dar por flujo de masa y difusión. El potasio es vital en la fotosíntesis y en la activación de más de 60 sistemas enzimáticos en las plantas, pero no está involucrado directamente en la estructura de las células. Es muy importante para mantener la presión osmótica y para neutralizar cargas eléctricas dentro de la célula. Su alta movilidad permite que se traslade rápidamente de célula a célula, de tejido viejo a tejido nuevo en desarrollo, o a los órganos de almacenamiento. El potasio es muy móvil dentro de la planta y es absorbido del suelo como catión K^+ (Ernani et al., 2007).

2.4 Fertilización del cultivo de arveja

La arveja es un cultivo vegetal que tiene sus propias características biológicas y morfológicas (Cieslarova et al., 2012), pero es un cultivo que requiere de buenos nutrientes en el suelo para adecuar su crecimiento, siendo la fertilización el proceso más importante al servicio del cultivo y los medios de producción importantes por su impacto en la organización de los procesos fisiológicos de las plantas, especialmente la nutrición de macronutrientes, que permiten un óptimo desarrollo, sanidad y producción, el plan de fertilización debe establecerse siguiendo unos lineamientos técnicos donde se relacionan los requerimientos del cultivo y las propiedades físico químicas del suelo (Abu-Dahi & AL-Younis, 1988; FENALCE, 2015). En este sentido los requerimientos nutricionales según la extracción de nutrientes por tonelada de producción para el cultivo de arveja fueron establecidos por Alarcón, (1997), y se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. *Extracción de nutrientes cultivo de arveja*

Extracción de nutrientes cultivo de arveja (kg t ⁻¹)						
Elemento	N	P	K	Ca	Mg	S
nutricional	15.0	2.0	7.0	0.7	0.3	0.1

Fuente. Alarcón (1997)

Estudios realizados en fertilización como el de Santamaría Galindo et al. (2010) en Cundinamarca con la variedad Santa Isabel resaltan la importancia de la fertilización como practica que permite potenciar el rendimiento de este cultivo, encontrando que la mezcla de abonos orgánicos y 10-30-10, puede llegar a producir entre 13.5 y 14.9 t ha⁻¹. De igual forma, AL-Bayati et al. (2019), en una evaluación de dos variedades iraquíes frente a diferentes

mezclas de fertilizantes orgánicos y de síntesis química NPK, encontraron que existe interacción entre los niveles de fertilización y las variedades utilizadas, mostrando que la mezcla de la fertilización orgánica y química influye en las variables como: rendimiento biológico, número de granos por vaina, rendimiento de granos verdes, número de tallos por planta, porcentaje de materia seca del crecimiento vegetativo y peso y longitud de la vaina. Por otra parte en un estudio realizado en India, Kakar et al. (2002) reporta que la aplicación de 75-120-0 y 75-120-120 kg ha⁻¹ de NPK resultan ser estadísticamente iguales con una media de 14.45 y 15 t ha⁻¹, respectivamente, resaltando que la dosis variable de K en la fertilización no influye sobre el rendimiento de este cultivo. En contraste, Elsharkawy (2013), en una evaluación de diferentes niveles de K sobre el crecimiento, producción y composición química encontró que las dosis diferenciales de K influyen sobre el peso fresco y seco de follaje, número de vainas por planta, rendimiento total, concentración de nitrógeno, potasio y proteína, donde el nivel con diferencias estadísticas fue de 114 kg ha⁻¹ de K₂O.

Por otra parte, Sarfraz et al. (2020) reportan que la fertilización edáfica de NPK en el cultivo de arveja influye sobre el desarrollo radicular, crecimiento foliar, actividades antioxidante y fisiológicas y el rendimiento, específicamente en las variables de número de vainas por planta, número de granos por vaina y el peso total de semillas por planta. Específicamente, se destaca la importancia del N de este modo en un estudio realizado por Singh & Chaudhary (2016) donde evaluaron niveles diferenciales de N con dosis estándar de P y K establecidas según el análisis de suelos, encontraron que la aplicación de 40-60-60 kg ha⁻¹ de NPK alcanza un rendimiento de 36.6 t ha⁻¹, además de influir en variables como: Productividad (kg ha⁻¹ día⁻¹), producción de materia seca, peso de vaina verde y máxima eficiencia de materia seca.

Por su parte, Barrios et al., (2013) reportó diferencias estadísticas para la interacción entre niveles de nitrógeno y fosforó indicando que 150 kg ha⁻¹ de N y P lograron los mayores promedios para las variables de rendimiento, numero de granos y numero de vainas con respecto al testigo sin fertilización, donde los incrementos para cada una de estas variables fueron de 72, 81 y 100%, respectivamente.

2.5 Análisis de presupuesto parcial - APP

Según Horton (1982) este análisis proporciona información útil para tomar decisiones en los procesos de investigación, extensión y adopción, pero las decisiones deben estar basadas también en un buen conocimiento de la tecnología del producto a evaluar y de los sistemas locales de producción.

El análisis de presupuesto parcial puede ser empleado para comparar el impacto de un cambio tecnológico sobre los costos e ingresos de la finca. Este enfoque del presupuesto se denomina parcial porque no incluye todos los costos de producción, sino solo aquellos que son diferentes al comparar las practicas usuales de producción que sigue el productor con las practicas propuestas. El análisis de presupuesto parcial permite cuantificar el impacto de un cambio en el sistema de producción del productor tenga sobre su ingreso neto sin necesidad de conocer todos los costos de producción (Horton,1982).

El Análisis de Presupuesto Parcial es útil en cada fase del proceso de investigación, extensión, adopción. En el primer caso, puede ayudarle al investigador a concentrar su atención en aspectos problemáticos de las tecnologías que esté desarrollando, en las cuales es necesario reducir costos y aumentar retornos. En el segundo, puede ayudar al extensionista a desarrollar recomendaciones acertadas con un alto potencial de adopción. Finalmente puede ayudar al productor a mejorar su proceso de toma de decisiones (Horton, 1982).

Para este análisis existen una serie de reglas que son: Si el ingreso neto (IN) permanece igual o disminuye, la nueva tecnología debe ser rechazada porque no es más rentable que la del agricultor.

Si el IN se incrementa y los costos variables permanecen constantes o disminuyen, la nueva tecnología debería ser adoptada, pues es claramente más rentable que la tecnología del productor.

Si tanto el ingreso neto (IN) como los costos variables (CV) aumentan se debe calcular y analizar la tasa de retorno (TR). A mayor incremento del ingreso neto y a mayor tasa de retorno (TR), más económicamente atractiva es una alternativa tecnológica. La nueva tecnología debería ser aceptada solo si la tasa de retorno es superior a 1.0 (Horton, 1982).

2.5.1 Componentes APP

Los componentes que integran el APP propuestas por Horton (1982) son:

- Costos de Insumos: La cantidad de insumos o de las variables a evaluar multiplicadas por los precios dan los costos.
- Costos de Capital: El capital tiene un costo que depende de la tasa anual de interés y el tiempo durante el cual se usa el capital. Estos factores son válidos sea que el capital se obtenga de crédito o que el productor disponga de él.
- Costos Variables: Son los costos que, si cambian o varían de una práctica a otra, ejemplo costos de semilla y costos de capital.
- Cambio de Ingreso Neto: El productor para decidir si adopta el sistema recomendado, debe saber si esta opción aumentara su ingreso neto. Para ello se aplica la siguiente formula:

- Tasa de Retorno: Es una medida del ingreso neto dividido por el capital adicional que se invierte en una nueva tecnología, en comparación con la del productor. Si la tecnología alternativa cuesta menos que la del productor, no es necesario calcular la tasa de retorno, pero si es más costosa entonces la TR se calcula y debe ser mayor que las otras inversiones posibles, lo suficientemente alta para cubrir los riesgos asociados con la adopción.

3. Metodología

3.1 Localización

El estudio se llevó a cabo entre los meses de mayo a noviembre de 2019 en la vereda Yanalá Alto perteneciente al municipio de Ipiales y se localizó a 0° 51' 65" latitud norte y 77° 34' 96" longitud oeste, a una altitud de 2850 msnm, en una zona de vida caracterizada como bosque seco – montano bajo (Holdrige, 1982), sobre un suelo andisol clasificado como *Vitrandic Dystrustepst*, con temperatura media de 12 °C a 18 °C y precipitación anual de 500 a 1000 mm (IGAC, 2006).

3.2 Análisis de suelo

El muestreo de suelo se realizó en el mes de abril del 2019, el lote se dividió en tres partes efectuando un recorrido en M para un total de 15 submuestras por división, luego se homogenizó y se tomó una muestra de un kilogramo posteriormente se envió al laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño, los resultados de este análisis se relacionan en la Tabla 2.

Tabla 2. *Descripción de las condiciones físico químicas del suelo, vereda Yanalá, municipio de Ipiales. Nariño, Colombia. 2019.*

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	Interpretación
Da	g cc ⁻¹	0,95	
CIC	cmol ⁺ kg ⁻¹	15,1	
pH		6,13	Ad
MO	%	3,67	B
K	cmol ⁺ kg ⁻¹	1,66	A
Ca		8,34	A
Mg		2,01	A
P	mg kg ⁻¹	225	A
S		7,3	B
Fe		203	A
Cu		4,8	A
Mn		10,32	A
Zn		6,81	A
B		0,6	A

Interpretación. A: alto, M: Medio, B: bajo y Ad: adecuado

Fuente. Laboratorio de análisis de suelos, Universidad de Nariño.

3.3 Material vegetal

En la presente investigación se trabajó con tres variedades (Alcalá, Sureña y San Isidro) y dos líneas afila (L3 y L28). En la Tabla 3 se presentan algunas de sus características y la genealogía de las líneas afila.

Tabla 3. Descripción de los cinco genotipos evaluados

Nº	Genotipo	Procedencia	Color grano	Tipo de hoja
1	Sureña	GRICAND	Verde	Foliolos
2	San Isidro	GRICAND	Verde	Foliolos
3	Alcalá	GRICAND	Crema	Foliolos
4	L3 [SX3575F3RC1F5L3]	GRICAND	Verde	Zarcillos (Afila)
5	L28 [SX3568RC2F5L31SIP1]	GRICAND	Verde	Zarcillos (Afila)

Fuente. Este estudio

3.4 Diseño experimental

Se estableció un ensayo con diseño en parcelas divididas, cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + P_i + (B \times P)_{ki} + S_j + (P \times S)_{ij} + [(B \times S)_{kj} + (B \times P \times S)_{kij}]$$

Dónde:

Y_{ijk} = variable de respuesta asociada a la parcela principal i, subparcela j, bloque k.

μ = efecto de la media general del experimento

B_k = efecto del bloque k

P_i = efecto de la parcela principal i

$(B \times P)_{ki}$ = error *a* (interacción del bloque k por la parcela principal i)

S_j = efecto de la subparcela j

$(P \times S)_{ij}$ = interacción de la parcela principal i por la subparcela j.

El experimento contó con cinco parcelas principales correspondientes los cinco materiales de arveja (Alcalá, San Isidro, Sureña, L3 y L28) (Tabla 2) y seis sub parcelas con dosis diferenciales de NPK, cinco basadas en los niveles establecidos por Alarcón (1997) a las cuales se le incrementó y redujo un 25 y 50% y un nivel establecido según los resultados obtenidos por el análisis de suelo (Tabla 4), y cuatro repeticiones para un total de 120 unidades experimentales.

La parcela experimental donde se estudió el genotipo estuvo comprendida por cinco surcos distanciados entre ellos a 1.2 m para un ancho de 6 m y 18 m de largo para un total de 108m², las subparcelas que contiene el sistema de fertilización contó con un área de 18 m². En la siembra se ubicó una semilla por sitio a una distancia entre ellas de 0.10 m, obteniendo una

densidad de siembra ideal de 80.000 plantas por hectárea. La evaluación se realizó en los tres surcos centrales.

Las labores de fertilización se realizaron con una fuente completa (10-30-10) y complementada con fuentes simples (Urea y KCl)

Tabla 4. Niveles de fertilización de NPK del cultivo de arveja para producir 10 t ha^{-1} y recomendación basada según el análisis de suelo.

Porcentaje	N	P	K
	kg ha ⁻¹		
150%	225	30	105
125%	188	25	88
100%	150	20	70
75%	113	15	53
50%	75	10	35
Análisis de suelo	176	0	0

Fuente. Este estudio

3.5 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron las contempladas en los componentes de rendimiento mencionadas en la metodología de Casanova et al. (2012) y las evaluaciones se realizaron en los tres surcos centrales de cada unidad experimental, la metodología aplicada para cada variable se describe a continuación:

3.5.1 Número de grano por vainas (NGV)

De cada unidad experimental se tomó al azar 15 vainas y se realizó el conteo de sus granos para obtener el promedio.

3.5.2 Número de vainas por planta (NVP)

En la unidad experimental se contó el número total de vainas de los tres surcos centrales y se dividió entre el número de plantas para obtener el promedio.

3.5.3 Peso de vaina con grano (PVCG)

Se tomó una muestra de 15 vainas llenas al azar de cada unidad experimental y se promedió.

3.5.4 Relación grano vaina (R/V)

Se registró el peso de 15 vainas llenas tomadas al azar de la parcela útil, posteriormente las 15 vainas fueron desgranadas, registrando el peso de sus granos, el cual se dividió entre el peso de las 15 vainas llenas.

3.5.5 Rendimiento en verde (RTOV)

Cuando las plantas presentaron las primeras vainas en madurez fisiológica, se cosecharon tres surcos de la parcela experimental, se registró el peso de sus vainas y se llevó a toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$).

3.6 Análisis estadístico

Inicialmente, se realizó la prueba de Shapiro-Wilks para determinar si las variables evaluadas presentaron una distribución normal. Posteriormente, se realizó el análisis estadístico a través de un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar la existencia de diferencias estadísticas, ya sea para los factores individualmente o para la interacción. Una vez determinada la existencia de diferencias estadísticas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey y para la interacción se construyó una gráfica de interacción. El procesamiento de la información se realizó en el programa Infostat v.2019 y R v. 2021.9.0.

3.7 Análisis económico de presupuesto parcial

Se realizó con base en la metodología de presupuesto parcial descrita por Hernández (2001), para tal fin se tuvo en cuenta las diferencias estadísticas encontradas en la variable rendimiento obtenidas a través de la comparación de medias, dentro de los tratamientos que no presentan diferencias estadísticas, es decir los que se agrupan entre sí, se eligió el de menor costo. Posteriormente, los tratamientos elegidos para el análisis económico se sometieron a un análisis de dominancia, donde básicamente se determinó que tratamientos no resultaron ser dominados y de este modo aplicar con el análisis de tasa de retorno marginal.

4. Resultados y discusión

Los resultados de esta investigación se presentan a continuación conforme a los objetivos planteados y a la metodología propuesta en el presente documento, en este sentido, inicialmente se presenta la Tabla 4 correspondiente a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks donde se probó la hipótesis de normalidad de las variables evaluadas: número de granos por vaina (NGV), número de vainas por planta (NVP), peso de vaina con grano (PVCG), relación grano vaina (RGV) y rendimiento en vaina verde (RTOV). La prueba mostró que el p-valor fue < 0.05 , indicando que hay evidencias para aceptar el supuesto de distribución normal para las variables evaluadas en este estudio.

Tabla 5. *Prueba de normalidad Shapiro-Wilks para las variables evaluadas.*

Variable	n	Media	p-valor
NGV	120	5.67	0.331
NVP		27.23	0.566
PVCG		7.97	0.752
RGV		0.47	0.050
RTOV		13.02	0.126

Fuente. Este estudio

Por otra parte, en la Tabla 6 se presentan los resultados estadísticos a través de los cuadrados medios obtenidos por el análisis de varianza para cada una de las variables. Donde se encontró que existen diferencias estadísticas para los dos factores de forma independiente (genotipos y fertilización) en las variables NGV y NVP, así como también se presentaron diferencias estadísticas para la variable RGV para el factor genotipo y finalmente la variable RTOV presentó diferencias estadísticas para la interacción de los dos factores.

Tabla 6. Cuadrado medio de las variables rendimiento en vaina verde (RTOV), número de vainas por planta (NVP), peso de vaina con grano (PVCG), número de granos por vaina (NGV) y relación grano vaina (G/V). Yanalá. Ipiiales 2019.

F. Variación	GL	NGV	NVP	PVCG	G/V	RTOV
Modelo	44	0.49	112.04	0.67	0.0021	13.83
Genotipos	4	2.57*	426.03*	0.50	0.01*	36.33*
Bloques	3	0.28	125.56	0.46	0.0014	17.48
Error a	12	0.48	40.76	1.42	0.0017	5.38
Fertilización	5	0.38*	353.50**	0.36	0.00068	54.47**
G*F	20	0.15	29.63	0.35	0.0013	3.69*
Error b	75	0.12	21.96	0.23	0.00048	1.95
R²		0.71	0.75	0.63	0.72	0.81
CV		6.00	17.23	5.97	4.64	10.58

*Diferencias estadísticas.

Fuente. Este estudio

4.1 Número de Granos Por Vaina (NGV)

El análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas para los efectos simples, de este modo la prueba de comparación de medias mostró que las líneas L3 y L28 con 5.96 y 5.92 NGV, respectivamente, resultando ser superiores a la variedad Alcalá, Sureña y San Isidro las cuales presentaron medias de 5.17, 5.54 y 5.79 número de granos por vaina (Tabla

7). El hecho de encontrar estos resultados donde las líneas afila son superiores a las variedades en cuestión se debe posiblemente al proceso de mejoramiento que se ha llevado hasta la obtención de estas líneas, en este sentido dicha afirmación se puede respaldar con lo afirmado por Tulcán & Castillo (1998) quienes sugieren que el número de granos por vaina es un carácter cuya expresión es altamente heredable, teniendo en cuenta esto se puede pensar que esta característica fue heredada de la variedad Sindamanoy, variedad que fue el punto de partida para la obtención de estas líneas y presentaba de 6 a 9 granos por vaina según Checa et al. (2022), así mismo, el comportamiento para esta variable estuvo dentro del rango reportado por Khan et al. (2013) quienes encontraron variaciones entre 4,0 y 8,5 granos por vaina. Teniendo en cuenta esta variable existe una clasificación planteada por Biddle et al. (1988) quienes afirman que, si el NGV se sitúa entre tres y cuatro, se considera bajo, medio entre cinco a seis y alto mayor de seis, teniendo en cuenta lo anterior los resultados obtenidos en esta investigación permiten clasificar estas líneas en un nivel medio - alto. No obstante, los procesos de mejoramiento han llevado a replantear esta escala debido al incremento que se ha presentado en esta variable de este modo Ligarreto & Ospina (2009) plantean que un NGV está entre 3 y 4 se considera bajo, medio entre 5 y 6, y alto entre 7 y 12, en este caso las líneas afila evaluadas en este estudio estarían en un rango medio.

Con respecto, a los niveles de fertilización la prueba de comparación de medias mostró que el nivel de correspondiente a 225-30-105 alcanzó una media de 5.85 NGV y es diferente estadísticamente al nivel de 113-15-53 el cual presentó 5.50 NGV (Tabla 7). El hecho de encontrar estas diferencias entre estos niveles se debe principalmente a las proporciones teniendo en cuenta que el nivel de 113-15-53 corresponde al 50% del nivel de 225-30-105 kg ha⁻¹ de NPK, esta respuesta diferencial a los niveles se debe posiblemente a lo afirmado

por Kakar et al. (2002) quienes afirman que el nitrógeno es requerido para la optimización del crecimiento vegetativo resultando favorable para producción de vainas y granos por vaina, además, afirman que el fosforo juega un rol importante en el desarrollo de la vaina, el tamaño de la semilla y la resistencia a enfermedades, por otra parte, el potasio está relacionado con el aumento de la floración así como con la formación de las vainas. En este sentido, Collins & Duke (1981) afirman que esto se debe al papel que desempeña el potasio en las plantas que incluye el transporte de cationes a través de la membrana, la eficiencia de uso de agua, metabolismo energético y la actividad enzimática, además, aumenta el intercambio de carbono y mejora el movimiento de carbohidratos lo que está relacionado con la estimulación del crecimiento vegetativo.

En un estudio realizado por Cabrera (1983) en frijol y su respuesta a fertilizantes inorgánicos NPK concluyó que el fosforo es un elemento importante en la producción estable de granos puesto que es el encargado de regular la absorción de nitrógeno y potasio. En otro estudio realizado por Flórez (1987) donde evaluó los efectos de la fertilización nitrogenada, inoculación a la semilla y aplicación de materia orgánica en el rendimiento de dos variedades de frijol Canario, Divex y Bayo encontró diferencias significativas en número de granos.

Tabla 7. *Comparación de promedios de las variables número de vainas por planta (NVP), peso de vainas con grano (PVCG), número de granos por vaina. (NGV) y relación grano vaina (RGV) de genotipos de arveja. Yanalá. Ipiales. 2019.*

Genotipo	NGV	NVP	PVCG	RGV
Sureña	5.54 ab	32.54 a	7.83 a	0.48 a
San Isidro	5.79 ab	27.58 a	7.83 a	0.48 a
Alcalá	5.17 b	20.75 b	8.01 a	0.44 b

L3	5.96 a	28.04 a	8.00 a	0.48 a
L28	5.92 a	27.08 a	8.18 a	0.47 ab

Promedios con letras distintas tienen diferencias estadísticas ($p < 0,05$)

Fuente. Este estudio

Tabla 8. *Comparación de promedios de las variables, número de vainas por planta (NVP), peso de vaina con grano (PVCG), número de granos por vaina (NGV) y relación grano vaina (RGV), por nivel de fertilización. Yanala. Ipiales. 2019.*

Nivel de NPK	NGV	NVP
225-30-105	5,85 a	20,00 b
188-25-88	5,80 ab	24,30 b
150-20-70	5,55 ab	30,90 a
113-15-53	5,50 b	28,90 a
75-10-35	5,65 ab	30,05 a
Análisis	5,70 ab	29,05 a

Promedios con letras distintas tienen diferencias estadísticas ($p < 0,05$)

Fuente. Este estudio

4.2 Número de vainas por planta (NVP)

La prueba de comparación de medias mostró que las líneas L3 y L28 con 28.04 y 27.08 NVP, respectivamente, son estadísticamente iguales a las variedades Sureña y San Isidro las cuales presentaron medias de 32.54 y 27.58 NVP, respectivamente (Tabla 7).

Las líneas L3 y L28 tienen como uno de sus padres a la variedad Sindamanoy, siendo este genotipo el que entrega la herencia positiva para la codificación de esta característica NVP, en un estudio realizado por Pantoja et al. (2014) reporta medias que oscilaron entre 10 a 21 vainas por planta siendo estadísticamente similares a los obtenidos por los testigos Andina y Sindamanoy con promedios de 16,33 y 19,67 NVP, concluyendo que las líneas con gen afila

evaluadas no mostraron efecto en la variable NVP respecto a los testigos de hojas normales Andina y Sindamanoy.

En contraste, Herrera, (2020) reportó medias de 18.92 y 31.02 NVP mostrando un mejor desempeño, estos resultados guardan relación con lo obtenido en esta investigación. Por otra parte, la variedad Sureña presentó la media más alta para esta variable, siendo una característica propia de la variedad debido a su origen, teniendo en cuenta que es proveniente del cruzamiento entre las variedades Santa Isabel y San Isidro y en un estudio realizado por el ICA (2012a) registró una media de 53 NVP.

Con respecto al factor correspondiente a los niveles de fertilización la prueba de comparación de medias (Tabla 7) mostró que los niveles correspondientes a 150-20-70, 113-15-53, 75-10-35 y análisis de suelos son estadísticamente iguales presentando medias de 30.90, 28.90, 30.05 y 29.05 NVP, respectivamente. Así mismo cabe mencionar que los niveles con una media más baja fueron los niveles de 225-30-105 y 188-25-88 los cuales presentaron medias de 20 y 24.30 NVP.

Cabe mencionar, que los niveles altos como son 225-30-105 y 188-25-88 presentaron unos promedios más bajos en esta variable debido a que existió una reducción en el número de plantas en las unidades experimentales a causa de la fitotoxicidad causada por las cantidades de fertilizante aplicadas, esta circunstancia, permite resaltar la importancia de los planes de fertilización basados en el análisis de suelo donde no solamente se tiene en cuenta los requerimientos nutricionales o niveles de extracción sino también las propiedades químicas del suelo como lo afirma Ferrais (2015) quién concluye que en la práctica de la fertilización las dosis y fuentes deben ser ajustadas a niveles seguros para el cultivo.

4.3 Relación grano vaina (G/V)

El análisis de varianza mostró que existen diferencias estadísticas para los genotipos, donde la prueba de comparación de medias mostró que las líneas con gen afila L3 y L28 y las variedades Sureña y San Isidro presentaron una media similar que oscila entre 0.47 y 0.48, por otra parte, la variedad Alcalá fue superada por los demás genotipos presentando una media de 0.44 (Tabla 7).

Estos resultados se deben posiblemente a que esta característica fue heredada para las líneas L3 y L28 del padre recurrente Sindamanoy, esto es posible afirmarlo citando un estudio realizado por Riascos & Checa (2018) quienes al evaluar como testigo la variedad Sindamanoy encontraron que esta presentó una media de 0.46, además en el mismo estudio se encontró que el 28% de las variedades afila evaluadas presentaron una media de 0.48, así mismo, Jojoa (2017) reportó que la línea L3 superó con una media de 0.49 a la variedad Alcalá la cual presentó una media de 0.39.

Esta variable resulta de gran importancia puesto que con ella se busca obtener mayor peso en grano con respecto a la vaina, lo cual permite conocer la proporción del efecto vertedero hacia los granos, producto final de interés para el mercado entendiendo que una relación grano vaina alta favorece la industrialización de la arveja (Riascos & Checa, 2018).

4.4 Rendimiento en verde (RTOV)

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas para la interacción de los factores. De este modo la gráfica de interacción (Figura 1) muestra que la línea L3 presentó el rendimiento más alto con una media de 16.86 t ha^{-1} . De igual forma la gráfica de interacción permite observar como disminuye el rendimiento de los genotipos cuando los niveles de fertilización

fueron de 225-30-105 y 188-25-88 kg ha⁻¹ de NPK, siendo 8.7 t ha⁻¹ el rendimiento más bajo correspondiente a la línea L28 con el nivel 225-30-105.

Así mismo, la gráfica de interacción permite apreciar que los rendimientos obtenidos por cada uno de los genotipos con el nivel 176-0-0 (Análisis de suelo) no varían significativamente con respecto a los niveles correspondientes a 113-15-53 y 150-20-70, de este modo, se observó que en estos niveles la línea L3 presentó rendimientos de 16.16 y 16.68 t ha⁻¹, los cuales no difieren de manera significativa con el rendimiento obtenido por el nivel 176-0-0, siendo que la diferencia entre ellos es de 0.7 y 0.18 t ha⁻¹.

Este mismo comportamiento se presentó para todos los genotipos evaluados, de tal modo que la línea L28 presentó un rendimiento de 12.16 t ha⁻¹ con el nivel de NPK 176-0-0 y con los niveles de 113-15-53 y 150-20-70 presentó unos rendimientos medios de 12.86 y 14.05 t ha⁻¹, presentando una diferencia de 0.54 y 1.89 t ha⁻¹, respectivamente. Con respecto a las variedades evaluadas destaca San Isidro, la cual presentó un rendimiento de 14.03 cuando se fertilizó con 176-0-0 y cuando los niveles fueron 113-15-53 y 150-20-70 presentó rendimientos de 14.38 y 15.21, respectivamente, rendimiento que no alcanzan diferencias significativas con respecto al nivel de 176-0-0 teniendo en cuenta que son de 0.35 y 1.18 t ha⁻¹.

Por otra parte, la gráfica de interacción permite afirmar que posiblemente existe un comportamiento diferencial con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes para los diferentes genotipos evaluados, de este modo es posible afirmar que el genotipo con mejor eficiencia de uso de nutrientes o con una mejor respuesta a la fertilización en términos de rendimiento sería la línea L3, seguida por las variedades San Isidro, Sureña y Alcalá, y la

línea L28 resultaría ser la menos eficiente teniendo en cuenta que con el nivel 176-0-0 es la que presentó el menor rendimiento con 12.16 t ha^{-1} .

Los resultados encontrados permiten resaltar la importancia de la fertilización entendiendo que esta práctica permite asegurar un determinado nivel de rendimiento, aumenta la fertilidad del suelo y asegura la producción sostenible de los cultivos, cuando otros factores del suelo son limitantes (Pérez Vélez, 2014; W. Gong et al., 2009; X. Y. Li et al., 2005; Manan et al., 2009). El hecho de encontrar que el nivel de 176-0-0 presentó la mejor media con la línea L3, se debe a la importancia del nitrógeno para las leguminosas, de este modo Wysokinski & Lozak (2021) demostraron que la principal fuente de nitrógeno para la arveja en las etapas iniciales de crecimiento (primeras cuatro hojas) fueron las reservas del suelo, mientras que desde los primeros brotes individuales visibles fuera de las hojas hasta producción la fuente de nitrógeno de mayor importancia fue la atmosfera, siendo 3.253 kg ha^{-1} la absorción total de nitrógeno del suelo, atmosfera y fertilizantes minerales. En este mismo estudio se reporta que la aplicación de fertilizante mineral nitrogenado a razón de 30 kg ha^{-1} no resulta ser una fuente significativa de nitrógeno para la arveja, siendo que en la presente investigación se aplicó 176 kg ha^{-1} explica el hecho de encontrar diferencias en el rendimiento.

Si bien la fertilización nitrogenada resulta ser importante, cabe mencionar que la arveja presenta una gran sensibilidad a esta, así, Singh & Chaudhary (2016) en un estudio donde evaluaron niveles diferenciales de N con dosis estándar de P y K establecidas según el análisis de suelo, encontraron que la aplicación de $40-60-60 \text{ kg ha}^{-1}$ de NPK alcanza un rendimiento de 36.6 t ha^{-1} , que resultó ser superior al nivel correspondiente a $60-60-60 \text{ kg ha}^{-1}$ el cual presentó un rendimiento promedio de 30 t ha^{-1} . Por otra parte, Apáez Barrios et al. (2013) reportó diferencias estadísticas para la interacción entre niveles de nitrógeno y fosforó

indicando que 150 kg ha^{-1} de N y P logra potenciar variables como rendimiento, numero de granos y numero de vainas con respecto al testigo sin fertilización, donde los incrementos para cada una de estas variables fueron de 72, 81 y 100%, respectivamente.

Teniendo en cuenta lo anterior, existe la posibilidad de que el rendimiento en el cultivo de arveja dependa en su mayoría de la fertilización nitrogenada, dicha afirmación se puede respaldar con el estudio realizado por Kakar et al. (2002) quien al evaluar niveles diferenciales de K, reporta que la aplicación de 75-120-0 y 75-120-120 kg ha^{-1} de NPK resultan ser estadísticamente iguales con una media de 14.45 y 15 t ha^{-1} , respectivamente, resaltando que la dosis variable de K en la fertilización no influye sobre el rendimiento de este cultivo.

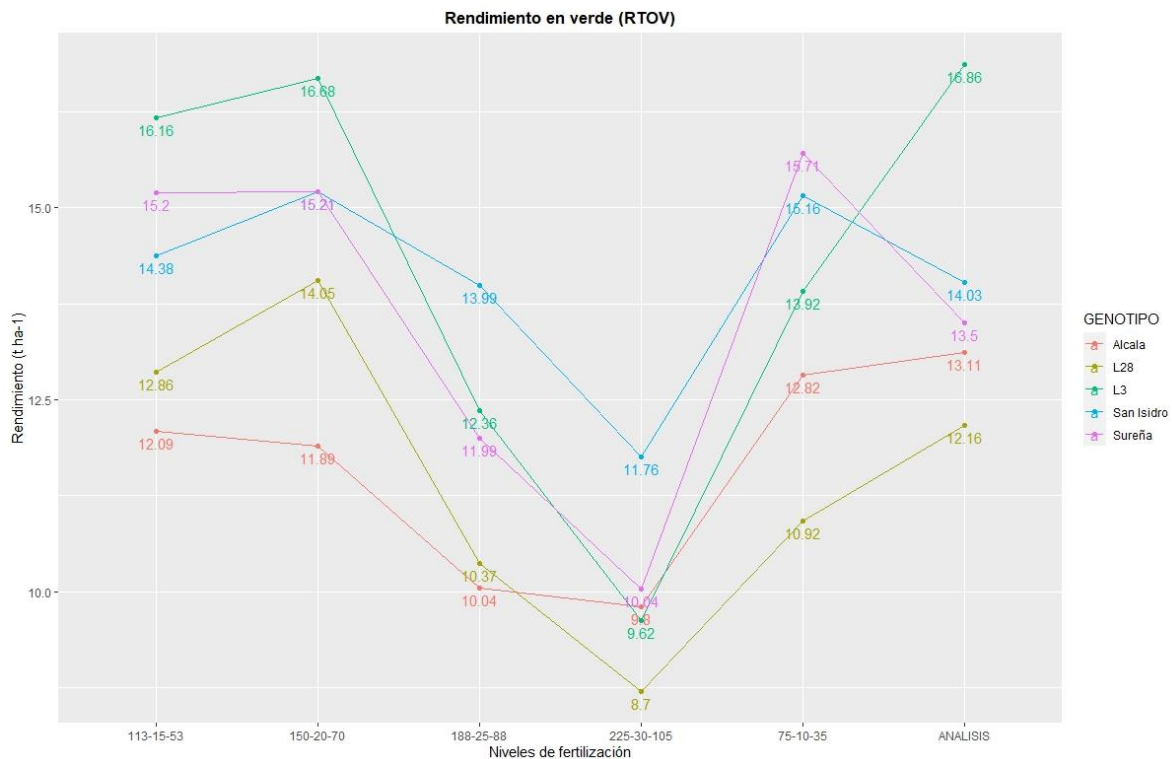


Figura 1. Grafica de interacción entre genotipos y niveles de fertilización para la variable rendimiento en verde (RTOV)

Fuente. Este estudio

Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Tukey para la interacción genotipo por nivel de fertilización en la variable rendimiento.

GENOTIPO	NIVEL	MEDIAS								
L3	ANALISIS	16,86	A							
L3	150-20-70	16,68	A B							
L3	113-15-53	16,17	A B C							
Sureña	75-10-35	15,71	A B C D							
San Isidro	150-20-70	15,21	A B C D E							
Sureña	150-20-70	15,21	A B C D E							
Sureña	113-15-53	15,2	A B C D E							
San Isidro	75-10-35	15,16	A B C D E							
San Isidro	113-15-53	14,38	A B C D E F							
L28	150-20-70	14,05	A B C D E F							
San Isidro	ANALISIS	14,03	A B C D E F							
San Isidro	188-25-88	13,99	A B C D E F							
L3	75-10-35	13,92	A B C D E F							
Sureña	ANALISIS	13,5	A B C D E F G							
Alcalá	ANALISIS	13,11	A B C D E F G H							
L28	113-15-53	12,86	B C D E F G H							
Alcalá	75-10-35	12,82	C D E F G H							
L28	75-10-35	12,79	C D E F G H							
L3	188-25-88	12,36	C D E F G H							
L28	ANALISIS	12,16	D E F G H							
Alcalá	113-15-53	12,09	D E F G H							
Sureña	188-25-88	11,99	D E F G H							
Alcalá	150-20-70	11,89	D E F G H							
San Isidro	225-30-105	11,75	E F G H							
L28	188-25-88	11,65	E F G H							
L3	225-30-105	10,72	F G H							
Alcalá	188-25-88	10,04	G H							
Sureña	225-30-105	10,04	G H							
Alcalá	225-30-105	9,81	G H							
L28	225-30-105	9,52	H							

DMS =3,8 t

ha⁻¹. Calculada

con error

promedio

ponderado y

valor de T al 0,05

Fuente. Este

estudio

2.3 Análisis económico presupuesto parcial para genotipos por nivel de fertilización

El análisis económico se realizó con cuatro niveles de fertilización (150-20-70, 113-15-53, 75-10-35 y 176-0-0) y con tres genotipos (L3, San Isidro y Sureña), la selección se realizó teniendo en cuenta el rendimiento medio alcanzado por las interacciones de dichos factores.

La tasa de interés se calculó en 30% anual, utilizando el capital por cinco meses, tiempo donde se desarrolló el experimento, generando un costo de capital de 12,5% de inversión en los meses de ejecución.

Tabla 10. Costos por nivel de fertilización cultivo de arveja

COSTOS FERTILIZACION ARVEJA							
Precio				Precio			
Descripción	Cantidad	Unitario	Total	Descripción	Cantidad	Unitario	Total
Niveles							
225-30-105				188-25-88			
10-30-10	4.75	98000	465500.0	10-30-10	3,96	98000	387916,7
KCl	3.97	75000	297750.0	KCl	3,31	75000	248437,5
UREA	9.15	80000	732000.0	UREA	7,63	80000	610000,0
Jornal	17.36	20000	347200.0	Jornal	17,36	20000	347200,0
Total			1842450.0	Total			1593554.2
150-20-70				113-15-53			
10-30-10	3.17	98000	310333.3	10-30-10	2,38	98000	232750
KCl	2.65	75000	198750	KCl	1,99	75000	149062,5
UREA	6.10	80000	488000	UREA	4,58	80000	366000
Jornal	15.05	20000	301000	Jornal	15,05	20000	301000
Total			1298083.3	Total			1048812.5
75-10-35				176-0-0			
10-30-10	1.58	98000	155166.7	10-30-10	0,00	98000	0
KCl	1.33	75000	99375	KCl	0,00	75000	0
UREA	3.05	80000	244000	UREA	9,58	80000	766400
Jornal	12.73	20000	254600	Jornal	12,73	20000	254600
Total			753141.7	Total			1021000.0

Fuente. Este estudio

Con respecto a los ingresos totales de rendimiento, la línea L3 y las variedades Sureña y San Isidro en el nivel de fertilización 150-20-70 kg ha⁻¹ NPK lograron rendimientos de 16.58, 15.21 y 15.21 t ha⁻¹, respectivamente, obteniendo ingresos totales de \$37.092.000 y \$33.462.000; para la línea L3 y la variedad Sureña en el nivel 113-15-53 kg ha⁻¹ NPK fue de 16.17 y 15.20 t ha⁻¹, respectivamente, obtuvieron un ingreso total de \$35.574.000 y \$33.440.00; y en el nivel 75-10-35 kg ha⁻¹ y las variedades Sureña y San Isidro obtuvieron rendimientos de 15.71 y 15.16 t ha⁻¹ generaron un ingreso total de \$34.562.000 y \$33.352.000 respectivamente (Tabla 9)

Tabla 11. *Costos variables e ingresos netos para niveles de fertilización por genotipos de arveja*

Insumos y Materiales	Valor Unitario	L3			Sureña		San isidro		
		Análisis	150-20-70	113-15-53	150-20-70	113-15-53	75-10-35	150-20-70	75-10-35
		Valores en miles							
Precio semilla Kg	18 \$ ha ⁻¹	475.2	475.2	475.2	561.6	561.6	561.6	498.6	498.6
10-30-10 (ha)	\$ 98	0.0	310.3	232.7	310.3	232.7	155.2	310.3	155.2
KCl (ha)	\$ 75	0.0	198.8	149.1	198.8	149.1	99.4	198.8	99.4
Urea (ha)	\$ 80	766.4	488.0	366.0	488.0	366.0	244.0	488.0	244.0
Jornales	\$ 20	254.6	300.9	300.9	300.9	300.9	254.6	300.9	254.6
Subtotal costos variables \$/ha		1496.2	1773.2	1523.9	1859.6	1610.3	1314.8	1796.6	1251.8
Costos capitales CC(\$ha ⁻¹)	Interés 12.5%	187.0	221.7	190.5	232.5	201.3	164.3	224.6	156.5
Total costos variables SCV+CC(\$ ha ⁻¹)		1683.3	1994.9	1714.4	2092.1	1811.6	1479.1	2021.2	1408.2
Ingresos									
Rendimiento promedio en verde t ha ⁻¹	Precio tonelada 2200	16.86	16.58	16.17	15.21	15.2	15.71	15.21	15.16
Ingreso Total \$ ha ⁻¹		37092	36476	35574	33462	33440	34562	33462	33352
Ingreso Neto (Ingreso Total-Costos Variables)		35408.74	34481.14	33859.63	31369.94	31628.43	33082.90	31440.82	31943.77

Fuente. Este estudio

Posteriormente, se realizó el análisis de dominancia donde se seleccionaron ocho tratamientos presentes en la Tabla 10, para realizar el análisis de dominancia se registraron de mayor a menor ingreso neto adjunto a su costo variable. Un tratamiento es determinado como dominado cuando el inmediatamente superior presenta mayor ingreso neto con menor costo variable. Al realizar el procedimiento se observó que los tratamientos dominados fueron Sureña y San Isidro 150-20-70 y Sureña en el nivel de fertilización 113-15-53 fueron dominados por San isidro en el nivel 75-10-35 y L3 en el nivel de 150-20-70 fue dominada por el tratamiento L3 en el nivel de análisis de suelo.

Con los resultados obtenidos, se seleccionaron los tratamientos no dominados para realizar el análisis de la Tasa de Retorno Marginal (TRM), entendiendo los tratamientos San Isidro y Sureña con el nivel de 75-10-35, la línea L3 con los niveles 113-15-53 y análisis de suelo (176-0-0) son económicamente viables para los intereses del productor.

Tabla 12. *Análisis de dominancia para 8 tratamientos seleccionados en la interacción Genotipos por Nivel de fertilización para realizar el análisis económico de Presupuesto Parcial de Hernández (2001).*

Interacción	Ingreso neto	Costo Variable
L3 Análisis	35.408.740	1.683.300 ND
L3 150-20-70	34.481.140	1.994.900 D
L3 113-15-53	33.859.630	1.714.400 ND
Sureña 75-10-35	33.082.900	1.479.100 ND
San Isidro 75-10-35	31.943.770	1.408.200 ND
Sureña 113-15-53	31.628.430	1.811.600 D
San Isidro 150-20-70	31.440.820	2.021.200 D
Sureña 150-20-70	31.369.940	2.092.100 D

*ND= No Dominado D= Dominado

Fuente. Este estudio

Finalmente, se realizó el análisis de Tasa de Retorno Marginal (TRM), donde se encontró que la interacción San isidro con el nivel de 75-10-35 presentó el ingreso neto mas bajo, de este

modo si se desea aumentar el ingreso neto la recomendación sería la interacción entre Sureña y el nivel 75-10-35, para esto se requiere aumentar los costos variables en \$70.900 lo que permitiría obtener un incremento en el ingreso de neto de \$1.139.130 con una TRM de 16,07.

Finalmente, el análisis de TRM mostró que el genotipo afila resulta tener los mayores ingresos netos con los niveles de 176-0-0 y 113-15-53, así para hacer el cambio de tecnología de una variedad tradicional como Sureña con un nivel de fertilización 75-10-35 a la línea L3 con 113-15-53 requiere un mayor incremento en costos variables de \$235.300 para obtener un incremento en el ingreso neto de \$776.730 con una tasa de retorno marginal de 3,30 y para pasar de la línea L3 con 113-15-53 a L3 con 176-0-0 se observó que hay un decrecimiento en los costos variables de \$-31.100 debido a que este nivel no requiere de insumos como los fertilizantes 10-30-10 y KCl, el ingreso neto para este cambio de tecnología es de \$1.549.110 y una tasa marginal de retorno (TRM) de 49,81 (Tabla 11).

Tabla 13. *Tasa de Retorno Marginal (TRM) para los tratamientos No Dominados*

Interacción G*F	Ingreso Neto	Costo Variable	Incremento en ingreso neto	Incremento en costos variables	TRM
L3 Análisis	\$35.408.740	\$ 1.683.300			
			\$ 1.549.110	-\$ 31.100	-49,81
L3 113-15-53	\$33.859.630	\$ 1.714.400			
			\$ 776.730	\$ 235.300	3,30
Sureña 75-10-35	\$33.082.900	\$ 1.479.100			
			\$ 1.139.130	\$ 70.900	16,07
San Isidro 75-10-35	\$31.943.770	\$ 1.408.200			

Fuente. Este estudio

Conclusiones

- Las líneas con gen afila L3 y L28, obtuvieron los mayores resultados en las variables NGV, NVP y RGV, presentando diferencias estadísticas únicamente con la variedad Alcalá.
- El nivel de fertilización 176-0-0 (análisis de suelo) y el correspondiente a 150-20-70 kg ha⁻¹ de NPK, fueron los niveles con promedios superiores para las variables de NGV y NVP.
- El rendimiento del cultivo de arveja fue influenciado por la interacción entre el genotipo y el nivel de fertilización, obteniendo el mejor resultado la línea L3 con el nivel de fertilización 176-0-0 kg ha⁻¹, el cual a su vez resultó ser el más rentable.

Referencias

- Abu-Dahi, Y. M., & AL-Younis, M. A. (1988). *Plant Nutrition Evidence. Ministry of Higher Education and Science Research*. Baghdad University.
- AL-Bayati, H. J. M., Ibraheem, F. F. R., Allela, W. B. A. M., & AL-Taey, D. K. A. (2019). Role of organic and chemical fertilizer on growth and yield of two cultivars of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Archives*, 19(January), 1249–1253. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30469.60648>
- Alarcón. (1997). *Evaluación de variedades de arveja Santa Isabel e ICA Tominé con diferentes niveles de fertilización química y biofertilizantes en el Municipio de Pasca Cundinamarca. Sede Fusagasugá*. Universidad de Cundinamarca.
- Apáez Barrios, P., Alberto, J., Escalante, S., Ramírez Vallejo, P., Douglas, S., Olt, K., Sosa, E., Manuel, V., & Gutiérrez, O. (2013). Eficiencia Agronómica De Nitrógeno Y Fósforo En La Producción De Frijol Chino En Espaldera De Maíz. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 285–293.
- Balta Crisólogo, A. R., Del Castillo Rodríguez, Á. M., Guerrero Abad, R., Cachique, D., Alva Plasencia, E., Arévalo López, L., & Loli, O. (2015). Absorción y concentración de nitrógeno , fósforo y potasio en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L .) en suelos ácidos , san martín , Perú absorption and concentration of nitrogen , phosphorus and potassium in sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L .) PLANT. *Folia Amazónica*, 24(2), 123–130. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL1446.pdf>
- Biddle, A. J., Knott, C. M., & Gent, G. P. (1988). *The PGRO pea growing handbook* (6th ed.). Processors and Growers Research Organization.

- Cabrera, B. (1983). . *Respuesta del frijol panamito mejorado en las variedades Samilac y Gratiot, a la aplicación de fertilizantes inorgánicos a base de N, P, K y sus interacciones*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cantarella, H. (2007). Nitrogênio. In R. Ferreira Novais, V. H. Alvarez, N. F. de Barros, R. L. Fontes, R. Bertola Cantarutti, & J. C. Lima Neves (Eds.), *Fertilidade do solo* (pp. 376–449).
- Casanova, L., Solarte, J., & Checa, O. (2012). Evaluation of four densities of sowing in seven promissory lines of bush pea (*Pisum sativum* L.). *Revista De Ciencias Agrícolas*, 29(2), 129–140.
- Checa, O., & Blair, M. (2005). Correlaciones fenotípicas y genéticas entre componentes de capacidad trepadora y rendimiento en frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). *Fitotecnia Colombiana*, 5(2), 37–46.
- Checa, O. E., Daniel, C., Rodríguez, M., Marco, R., Ruiz, H., Jesús, E., Figueroa, E. M., Marino, D., Rodríguez, R., Ruiz, M. H., Marco, E., Muriel, J. E., & Jesús, F. (2022). *LA ARVEJA Investigación y Tecnología en el Sur de Colombia* (1st ed.). Universidad de Nariño.
- Checa, O., Ligarreto, G., Lagos, T., Betancourth, C., & Arteaga, G. (2012a). *Registro Nacional de Cultivares Comerciales – ICA de la variedad de arveja ALCALÀ*.
- Checa, O., Ligarreto, G., Lagos, T., Betancourth, C., & Arteaga, G. (2012b). *Registro Nacional de Cultivares Comerciales – ICA de la variedad de arveja SUREÑA*.
- Cieslarova, J., Hybli, M., Griga, M., & Smykal, P. (2012). No TitleMolecular analysis of temporal genetic structuring in Pea (*Pisum sativum* L.) cultivars breed in the Czech

republic and in former Czechoslovakia since the mid-20th century. *Czech. Genet. Plant Breed.*, 48(2), 61–73.

Collins, M., & Duke, S. H. (1981). Influence of potassium fertilizer rate on photosynthesis and N-fixation. *Crop Science*, 21, 481–485.

Cote, R., Gerrath, J., Peterson, C., & Grodzinski, G. (1992). Sink to Source Transition in Tendrils of a Semileafless Mutant, *Pisum sativum* cv Curly. *Plant Physiology*, 100, 1640–1648.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2017). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2017*. Encuesta Nacional Agropecuaria - ENA. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019-I.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2019*. Encuesta Nacional Agropecuaria. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019-I.pdf

Elsharkawy, G. A. (2013). Growth, Yield and Chemical Composition of Peas (*Pisum sativum*) as Affected by Potassium Levels and Different Methods of Yeast Application. *Alexandria Science Exchange Journal: An International Quarterly Journal of Science Agricultural Environments*, 34(October-December), 360–368. <https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2013.3099>

Ernani, P. R., de Almeida, J. A., & dos Santos, F. C. (2007). Potássio. In *Fertilidade do solo*

(pp. 552–589). Sociedade Brasileira da Ciencia do Solo.

Espinosa, J. (1987). Evaluación agronómica de fertilizantes fosfatados en zonas altas del Ecuador. *Memorias Seminario de Alternativas Sobre Uso Como Fertilizantes de Fosfatos Nativos de América Tropical y Subtropical*.

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas - FENALCE. (2015). *El cultivo de la arveja en Colombia*. Produmedios. http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11438/7708/1/Bol_Insumos31_mar_2015.pdf

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas - FENALCE. (2020). *Departamento Económico Y Apoyo A La Comercialización. Indicadores cerealistas*. <https://www.fenalce.org/archivos/indicerealista2020B.pdf>

Giacconi, V., & Escafe, M. (1988). *Cultivo de Hortalizas*. Editorial Universitaria.

Gong, W., Yan, X. Y., Wang, J. Y., Hu, T. X., & Gong, Y. B. (2009). Longterm manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools under a wheat-maize cropping system in North China Plain. *Plant Soil*, 314, 67–76.

Hernández, M. (2001). Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuestos parciales: re-enseñando el uso de este enfoque. *La Calera*, 2(2), 40–48. <https://lcalera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/28>.

Herrera, D. (2020). *Evaluación de 20 líneas de arveja voluble (Pisum Sativum L.) con gen afila en cinco municipios del departamento de Nariño*.

Holdrige, L. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. Ecología Basada En Zonas de Vida.

<http://www.cct.or.cr/contenido/wp-content/uploads/2017/11/Ecologia-Basada-en-Zonas-de-Vida-Libro-IV.pdf>

Horton, D. (1982). *Análisis de presupuesto parcial para investigación en papa al nivel de finca*. Centro Internacional de la papa.

Jojoa, N. (2017).). *Evaluación de diferentes dosis de fertilizante de NPK para el cultivo de arveja (Pisum sativum L.) en el Municipio de Puerres, Departamento de Nariño*. Universidad de Nariño.

Kakar, A., Saleem, M., Rahim, S., & Qaim Shah, S. A. (2002). Growth and Marketable green pod yield perfomrance of pea under varying levels of NPK fertilizers. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(5), 532–534.

Khan, T., Ramzan, G., Jillani, G., & Mehmood, T. (2013). Morphological performance of peas (*Pisum sativum* L.) genotypes under rainfed conditions of potowar región. *Journal of Agricultural Research*, 51, 51–60.

Li, X. Y., Zhao, B. Q., Li, X. H., Li, Y. T., Sun, R. L., Zhu, L. S., Xu, J. W., & L X, Li X P, Z. F. D. (2005). Effects of different fertilization systems on soil microbe and its relation to soil fertility. *Scientia Agricultura Sinica*, 38, 1591–1599.

Ligarreto, G., & Ospina, A. (2009). Análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum* L.) tipo Santa Isabel. *Agron. Colomb*, 27(3), 333–339.
<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/rt/printerFriendly/13276/37306%5Cnhttp://www.scielo.org.co/pdf/agc/v27n3/v27n3a06>

Manan, M. C., Swarup, A., Wanjari, R. H., Ravankar, H. N., Mishra, B., Saha, M. N., Singh,

- Y. V, Sahi, D. K., & Sarap, P. A. (2009). Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. *Filed Crops Research*, 93, 264–280.
- Pantoja G., D., Muñoz Z., K., & Checa C., 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. <https://doi.org/10.22267/rcia.143102.29>
- Pérez Vélez, J. P. (2014). Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. In *Universidad Nacional de Colombia*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/39459/1/71782231.2014.pdf>
- 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 U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 367–376. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.984>
- Santamaría Galindo, M., Niño S., E. C., Blanco E., E., Prieto P., Y., & Galeano C., J. Y. (2010). Evaluación de dos fertilizantes orgánicos frente al fertilizante compuesto mineral 10 30 10 y sus mezclas, en el cultivo de arveja *Pisum sativum* L. En Madrid Cundinamarca. *INVENTUM*, 5(9), 14–18. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.5.9.2010.14-18>
- Sarfraz, M., Hussain, K., Nawaz, K., Yasin, G., Geng, Z., Sajjad, M., & Parveen, S. (2020). Determination of Effective Method of NPK Fertilization in Pea (*Pisum sativum* L.) Cultivars Grown in Pakistan. *Legume Research - an International Journal*, 44(OF), 431–438. <https://doi.org/10.18805/lr-570>

- Singh, J., & Chaudhary, D. R. (2016). Effect of split application of nitrogen on productivity , profitability and nitrogen use efficiency in garden pea (*Pisum sativum* L .) under dry temperate conditions of Himachal Pradesh. *Himachal Journal of Agricultural Research*, 42(1), 87–90.
- Steudle, E., & Peterson, C. (1998). How does water get through roots? *Exp. Bot.*, 49, 775–788.
- Stevenson F.J., & Cole, M. A. (1999). Phosphorous. In *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorous, Sulfur, Microbutrients* (pp. 279–329). Wiley & Sons, Inc.
- Tulcán, G., & Castillo, C. (1998). *Efecto de la labranza y aplicación de herbicidas en el manejo de malezas en el cultivo de arveja (Pisum sativum L.) en el municipio de pasto departamento de Nariño*. Universidad de Nariño.
- Wysokinski, A., & Lozak, I. (2021). The dynamic of nitrogen uptake from different sources by pea (*Pisum sativum* L.). *Agriculture (Switzerland)*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010081>
- Zamorano, C., López, H., & Alzate, G. (2008). Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia). *Agronomia Colombiana.*, 26(3), 443–450.