



Niveles de fertilización con calcio, magnesio y azufre en genotipos de arveja voluble (*Pisum sativum* L.) en Nariño

Fertilization levels with calcium, magnesium and sulfur in genotypes of voluble peas (*Pisum sativum* L.) in Nariño

Daniel Marino Rodríguez-Rodríguez¹ ; Óscar Eduardo Checa-Coral^{1*} ; Hugo Ruiz-Eraso¹ ; Jesús Muriel-Figueroa² ; Bayardo Yepes-Chamorro³ 

¹Universidad de Nariño, sede VIIS, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación Cultivos Andinos GRICAND. San Juan de Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: danmaro25@hotmail.com; cicagrarias@hotmail.com; hugoruize@yahoo.com

²Fenalce, sede Pasto, Grupo de Investigación Cultivos Andinos GRICAND. San Juan de Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: jmuriel@fenalcerregional.org

³Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria, Agrosavia, Centro de Investigación Obonuco, Grupo de Investigación Cultivos Andinos GRICAND. San Juan de Pasto - Nariño, Colombia; e-mail: byepes@agrosavia.co

*autor de correspondencia: cicagrarias@hotmail.com

Cómo citar: Rodríguez-Rodríguez, D.M.; Checa-Coral, Ó.E.; Ruiz-Eraso, H.; Muriel-Figueroa, J.; Yepes-Chamorro, B. 2022. Niveles de fertilización con calcio, magnesio y azufre en genotipos de arveja voluble (*Pisum sativum* L.) en Nariño. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 25(2):e1847. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1847>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: febrero 2 de 2021

Aceptado: septiembre 20 de 2022

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Nariño es el principal productor de arveja de Colombia. En su cultivo, se fertiliza con nitrógeno, fósforo y potasio, pero no se conoce el efecto de otros nutrimentos. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes niveles de calcio, magnesio y azufre sobre los componentes de rendimiento de arveja voluble, en los municipios de Gualmatán, Pupiales y Puerres, en suelos Andisoles y, en Ipiales y Potosí, en suelos Inceptisoles. En cada localidad, se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones, donde el factor A correspondió a cinco genotipos de arveja y el factor B, a cinco niveles de fertilización con calcio, magnesio y azufre. Los resultados indicaron respuesta positiva de los rendimientos a la aplicación de estos elementos. El nivel de fertilización 112,5-50-25 kg.ha⁻¹ de Ca, Mg y S, respectivamente, presentó mayor rendimiento que el nivel establecido por la información del análisis de suelos o testigo

en Gualmatán, Pupiales y Potosí, mientras que, en Puerres, hubo respuesta al nivel más alto, 135-60-30, de los mismos elementos. Los otros niveles de fertilización fueron similares al testigo. En Ipiales, la variedad Sureña presentó rendimientos similares para todos los niveles de fertilización. San Isidro presentó su mayor rendimiento, con el nivel 112,5-50-25 kg.ha⁻¹, de calcio magnesio y azufre. Las líneas con gen afila L3 y L18 igualaron los rendimientos de las variedades comerciales Sureña, Alcalá y San Isidro, en Potosí y en Pupiales.

Palabras clave: Arveja voluble; Azufre; Calcio; Fertilización mineral; Gen afila; Magnesio.

ABSTRACT

Nariño is the main pea producer in Colombia. The crop is fertilizer with nitrogen, phosphorus, and potassium, but the effect of other

nutrients is unknown. The objective of this research was to evaluate the effect of different levels of calcium, magnesium, and sulfur on the performance components of vobule pea in the municipalities of Gualmatán, Pupiales, and Puerres on Andisols, and in Ipiales and Potosí on Inceptisols soils. A randomized complete block design was used with divided plots and three replications, where factor A corresponded to five pea genotypes and factor B to five levels of fertilization with calcium, magnesium, and sulfur. The results indicated positive response of the yields to the application of these elements. The level of fertilization 112.5-50-25 kg,ha⁻¹ of Ca, Mg, and S respectively, presented a higher yield than the level established by information from the soil analysis or control in Gualmatán, Pupiales and Potosí, while in Puerres there was a response at the highest level 135-60-30 of the same elements. The other levels of fertilization were similar to the control. In Ipiales Sureña variety presented similar yields for all fertilization levels. San Isidro presented its highest yield with a level of 112.5-50-25 kg,ha⁻¹ of calcium, magnesium and sulfur. The lines with the L3 and L18 genes matched the yield of the commercial varieties Sureña, Alcalá and San Isidro in Potosí and Pupiales.

Keywords: Afla gen; Calcium; Magnesium; Mineral fertilization; Pea; Sulfur.

INTRODUCCIÓN

Nariño es el mayor productor de arveja vobule (*Pisum sativum*) en Colombia, con siembras en 17.000 hectáreas, en el 2015. Esta especie, se convirtió en una de las principales fuentes de empleo rural, generando más de 2.550.000 jornales al año. Actualmente, se despachan, en promedio, 150 toneladas diarias de arveja, de Nariño hacia el resto del país (Checa, 2016).

La fertilización, se hace de acuerdo con el hábito de crecimiento y para arveja vobule, se ha determinado que la proporción 15-2-7 kg de NPK es adecuada, para producir una tonelada en vaina verde. En general, no se hacen aplicaciones de otros elementos esenciales. En ese sentido, Ferraris & Couretot (2014) anotan que la fertilización de fósforo, azufre y otros nutrientes en arveja es relativamente reciente. Los mismos autores mencionan la existencia de algunos trabajos que establecen criterios y umbrales similares para arveja y soja, indicando requerimientos de 22 kg de calcio y 2 kg de azufre, por tonelada de arveja producida. Al respecto, Gómez (2006) presenta requerimientos del cultivo de arveja de 9-4-2 kg de calcio, magnesio y azufre, respectivamente, por cada tonelada de arveja producida.

La arveja es una especie que produce granos con un alto valor proteico (20 a 24 %), es exigente en nitrógeno y potasio y, en menor cantidad, en fósforo, calcio, magnesio y azufre (Ferraris & Couretot, 2014). El calcio, el magnesio y el azufre son considerados como elementos secundarios; no obstante, su deficiencia en el suelo afecta el desarrollo de la planta (Gliessman, 2002).

El calcio actúa sobre la asimilación del nitrógeno, estimulando la actividad microbiana. Induce el desarrollo de raíces y hojas y es

esencial para el llenado de vaina. El magnesio es un elemento clave para la fotosíntesis; participa en las transformaciones del nitrógeno y en la transferencia del fósforo en la planta, entre otras funciones, por tanto, las deficiencias de magnesio repercuten directamente sobre los rendimientos al afectar el proceso de fotosíntesis (Laurenço *et al.* 1968).

Las plantas toman el azufre del suelo en forma de sulfato. También, lo pueden captar de la atmósfera en forma de dióxido de azufre y ya en las hojas, pueden transportarlo y reducirlo de manera eficiente, específicamente, en los cloroplastos, donde se reduce el sulfito a la forma de sulfuro que, luego, es metabolizado a cisteína, a partir de la cual, se forma la metionina. Estos aminoácidos son partes estructurales y funcionales de proteínas y enzimas. Ambos son de vital importancia en los organismos vivos (Wainwright, 1984).

Los suelos de los sitios experimentales del orden Andisol, procedentes de cenizas volcánicas, son de reacción moderada a extremadamente ácida, altamente fijadores de fósforo y forman compuestos que dificultan la descomposición de la materia orgánica (Castro Méndez, 2004), razón por la cual, presentan baja eficiencia de la fertilización con NPK y la respuesta del cultivo, generalmente, no correlaciona con la información del análisis de suelos (Checa Coral *et al.* 2020; Múnera Vélez & Meza Sepulveda, 2012).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de cinco genotipos de arveja vobule con gen afla, a seis niveles de fertilización, complementaria con elementos esenciales calcio, magnesio y azufre y su interacción en diferentes órdenes de suelos, en cinco municipios de la zona Andina, del departamento de Nariño.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se desarrolló en localidades de los municipios de Gualmatán, Pupiales, Puerres, Ipiales y Potosí, productores de arveja y ubicados en la zona Andina de Nariño. Las coordenadas, el orden de los suelos de acuerdo con Castro Méndez (2004), así como los resultados de los análisis de suelos de cada sitio experimental con los contenidos de calcio, magnesio y azufre, utilizados para calcular los niveles de los diferentes tratamientos, se presentan en la tabla 1.

Las localidades hacen parte del Altiplano de Nariño en zona de minifundio, donde los cultivos, los sistemas de rotación con papa y hortalizas y las prácticas agrícolas, lo mismo que el nivel de tecnología, es similar en todos los ambientes objeto de estudio.

Diseño experimental. En cada localidad, se utilizó un diseño de bloques al azar, con arreglo en parcelas divididas. El factor A, lo conformaron cinco genotipos de arveja vobule, de las variedades comerciales Sureña, Alcalá, San Isidro y las líneas de arveja con gen afla L3 y L18, en Ipiales y en Puerres, reemplazadas por las líneas L27 y L28, en las otras localidades y caracterizadas por presentar gen afla, que reemplaza las hojas laterales por zarcillos (Checa *et al.* 2020).

El factor B correspondió a cinco niveles de calcio, magnesio y azufre, que se determinaron con base en los niveles propuestos por

Tabla 1. Características de los sitios experimentales y resultados del análisis de suelos.

Característica	Gualmatán	Pupiales	Puerres	Ipiales	Potosí
Coordenadas	N 0°50'51.1" W 77°34'14.7"	N 0°52'14.1" W 77°36'0.12"	N 0°49'34.1" W 77°33'51.4"	N 0°51'24.0" W 77°34'0.97"	N 0°51'36.6" W 77°36'27.8"
Altura m s.n.m.	2.700	2.876	2.652	2.660	2.690
Cultivo anterior	Arveja	Pastos	Pastos	Arracacha	Papa
Suelos	<i>Pachic Melanudands</i>	<i>Pachic Melanudands</i>	<i>Pachic Melanudands</i>	<i>Andic Dystrustepts</i>	<i>Vitrandic Dys- trustepts</i>
pH	5,05	4,82	5,11	5,65	5,48
MO (%)	6,67	4,21	2,42	2,13	2,84
Ca (kg.ha ⁻¹)	1.362	2.160	1.262	1.625	2.164
Mg (kg.ha ⁻¹)	87	43,2	114	245,5	202
S (kg.ha ⁻¹)	32,8	14,8	7,77	6,88	7,84

Gómez (2006) (Tabla 2), 90-40-20 kilogramos de calcio, magnesio y azufre, para producir una tonelada de arveja, tomado como nivel medio, a partir del cual, se exploraron dosis con el 25 y 50 % superior y el 25 %, inferior. El testigo, se determinó para cada sitio experimental, con base en la información del respectivo análisis de suelos (Tabla 1), para alcanzar el nivel medio propuesto por Gómez (2006), de 90-40-20 de calcio, magnesio y azufre, en kg.ha⁻¹. Como el suelo tuvo cantidades suficientes de calcio y de magnesio en todas las localidades, se hicieron aplicaciones en kg.ha⁻¹ de los faltantes de azufre 13,12, en Ipiales; 12,16, en Potosí y 12,24, en Puerres, excepto en Gualmatán, donde se registró suficiente cantidad para el requerimiento del cultivo.

La fertilización con elementos mayores, así como las prácticas agronómicas de mantenimiento del cultivo fueron similares para todos los tratamientos. Los datos obtenidos, se sometieron a un análisis de varianza; los promedios de los efectos simples, a prueba de Tukey, a nivel del 0,05 y los de la interacción, a la prueba de t, recomendada por Reyes Castañeda (1978) y por Little & Hills, (1997), para tratamientos cruzados. La unidad experimental estuvo constituida por cinco surcos de 3 m de largo, con distancia entre surcos de 1,20 y 0,10 m entre sitios, colocando una semilla por sitio. Las variables evaluadas fueron los siguientes componentes de rendimiento: número de vainas por planta, peso de la vaina con grano, número de granos por vaina tomados de 15 vainas por surco

Tabla 2. Niveles de elementos secundarios Ca, Mg y S. kg.ha⁻¹.

Nivel fertilización	Porcentaje %	Ca. kg.ha ⁻¹	Mg kg.ha ⁻¹	S kg.ha ⁻¹
Muy Alto	150	135	60	30
Alto	125	112,5	50	25
Medio	100	90	40	20
Bajo	75	67,5	30	15
Cantidades por análisis de suelo por sitio		0	0	-

Nota: Los porcentajes presentes en la tabla muestran las fracciones establecidas, basadas en los requerimientos presentados por Gómez (2006).

o 45 vainas por tratamiento y el rendimiento en vaina verde, se tomó de tres surcos centrales, con 90 plantas por tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de vainas por planta presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre genotipos, en Puerres e Ipiales y entre niveles de fertilización, en Gualmatán, Puerres, Ipiales y Potosí. Igualmente, se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) para peso de vaina con grano entre genotipos, en Gualmatán, Puerres y Potosí y entre niveles de fertilización, en Puerres. El rendimiento en vaina verde tuvo diferencias significativas para genotipos en Gualmatán, Puerres y Potosí. La interacción genotipo por nivel de fertilización fue significativa en Ipiales (Tabla 3).

Componentes de rendimiento. El número de vainas por planta fue significativamente mayor, con el nivel de fertilización 112,5-50-25 kg.ha⁻¹, de calcio, magnesio y azufre, respectivamente, en comparación con el testigo en Gualmatán y Potosí. En Puerres, el número de vainas obtenido con los diferentes niveles de fertilización superaron al testigo (fertilización basada en el análisis de suelos). En Ipiales y Pupiales no se encontró diferencias a ningún nivel de probabilidad estadística para esta variable (Tabla 4).

El peso de vaina con grano tuvo mayor respuesta significativa a los niveles 90-40-20 y 67,5-30-15 kg.ha⁻¹ de calcio, magnesio y azufre, respectivamente, en comparación con el nivel determinado con el análisis de suelos o testigo en Puerres; no obstante, es importante tener en cuenta que la eficiencia productiva de un genotipo de arveja no solo

Tabla 3. Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes en la evaluación de cinco genotipos de arveja, bajo diferentes niveles de fertilización, con elementos secundarios, en cinco municipios de Nariño.

	Municipios				
Fuente de Variación	Gualmatán	Pupiales	Puerres	Ipiales	Potosí
Número de vainas por planta					
Genotipo	54,91	354,50	387,45*	362,31*	120,95
Error a	15,01	266,19	16,92	29,80	52,92
Fertilización	12,30*	263,19	62,67*	3,17*	14,99*
G* F	3,49	276,60	10,61	24	3,13
Error b	1,65	271,57	15,21	11,23	5,62
CV	5,03	45,46	25,0	12,64	11,83
Peso de vaina con grano					
Genotipo	3,95*	2,61	3,93*	6,44	35,44*
Error a	0,64	3,42	0,85	1,75	0,91
Fertilización	0,24	0,06	1,13*	0,12	1,27
G* F	0,21	0,10	0,71	0,18	0,45
Error b	0,17	0,09	0,34	0,11	0,64
CV	4,96	4,98	6,99	4,90	9,82
Rendimiento en vaina verde					
Genotipo	23,86*	41,14	87,33*	32,17*	33,79
Error a	3,25	13,52	8,19	1,74	28,83
Fertilización	2,67*	10,83*	0,84*	0,50	3,14*
G* F	0,42	2,1	0,84	6,06*	0,83
Error b	0,72	1,45	2,93	2,07	1,09
CV	8,21	7,68	22	17,48	10,55

*Significancia a nivel del 0,05.

considera el peso de la vaina con grano sino también cuánto de ese peso le corresponde al peso de grano. En este sentido, un genotipo favorable sería aquel que, teniendo alto peso de vaina con grano, presente una alta relación grano/vaina (Riascos Delgado & Checa Coral, 2018; Sharma *et al.* 2006).

Singh & Singh (2017) anotan que el aumento de la oferta de fósforo y azufre mejoraron el número de vainas por planta, granos por vaina y peso de grano, probablemente, por una mayor síntesis de clorofila, acumulación de carbohidratos, proteínas y su translocación a los órganos reproductivos que, a su vez, aumentaron la mayor cantidad de vainas y otros componentes de rendimiento.

Mayor rendimiento que el testigo, se obtuvo con el nivel de fertilización 135-60-30 kg.ha⁻¹, en Puerres y con 112,5-50-25 kg.ha⁻¹, de calcio, magnesio y azufre, respectivamente, en Gualmatán, Pupiales y Potosí (Tabla 4). La tendencia del número de vainas, peso de vainas y rendimiento de arveja verde concuerdan con lo mencionado por Patel *et al.* (2012), Singh *et al.* (2013), Saket *et al.* (2014) y Singh (2017).

En Ipiales, se encontró una interacción del genotipo con el nivel de fertilización, que indicó que la variedad Sureña presentó rendimientos similares para todos los niveles de fertilización, en un rango de 9,88 a 11,44 t.ha⁻¹, incluyendo el nivel correspondiente a la sola aplicación del faltante azufre, por información del análisis de suelos; mientras que San Isidro presentó su mayor rendimiento, con el nivel 112,5-50-25 Kg.ha⁻¹, de calcio magnesio y azufre. La variedad comercial Alcalá y la línea con gen afila L28, con la aplicación del azufre faltante, tuvieron rendimientos similares a los obtenidos con otros niveles completos de fertilización. La línea L27 presentó rendimientos similares, entre los niveles completos de fertilización, superando a la aplicación con base en análisis de suelo (Tabla 5).

Aunque el análisis de suelos mostró cantidades suficientes para satisfacer los requerimientos de calcio, magnesio y azufre en los sitios experimentales, se encontró efecto significativo de los diferentes niveles de fertilización sobre número de vainas por planta, peso de vaina con grano y rendimiento, en comparación con el testigo.

Tabla 4. Comparación de promedios de componentes de rendimiento por niveles de Ca-Mg-S en cinco Municipios de Nariño.

Nivel de Ca-Mg-S. (kg.ha ⁻¹)	Municipios				
	Gualmatán	Pupiales	Puerres	Ipiales	Potosí
Número de vainas por planta					
135-60-30	25,48 b	44,10 a	18,13 a	27,11 a	20,19 ab
112,5-50-25	26,96 a	31,28 a	15,76 a	26,22 a	20,89 a
90-40-20	25,21 b	36,09 a	16,45 a	26,04 a	20,61 ab
67,5-30-15	25,55 b	36,39 a	15,02 a	26,29 a	20,18 ab
Análisis	24,47 b	33,39 a	12,56 b	26,87 a	18,33 b
Peso de vaina con grano (gramos)					
135-60-30	8,41 a	6,06 a	8,38 ab	6,83 a	8,08 a
112,5-50-25	8,38 a	6,11 a	8,45 ab	6,81 a	8,58 a
90-40-20	8,38 a	6,05 a	8,62 a	6,65 a	7,85 a
67,5-30-15	8,16 a	5,98 a	8,62 a	6,66 a	8,29 a
Análisis	8,15 a	5,96 a	7,95 b	6,80 a	7,94 a
Rendimiento en vaina verde (t.ha⁻¹)					
135-60-30	10,53 ab	16,05 ab	8,66 a	8,37 a	10,00 ab
112,5-50-25	10,8 a	16,95 a	7,76 ab	8,19 a	10,37 a
90-40-20	10,40 ab	15,63 b	7,99 ab	8,07 a	9,86 ab
67,5-30-15	10,13 ab	14,96 b	7,86 ab	8,05 a	10,13 ab
Análisis	9,59 b	14,89 b	6,62 b	8,46 a	9,16 b

Promedios con letras distintas tienen diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla 5. Interacción del rendimiento (t.ha⁻¹) de genotipos de arveja con diferentes niveles de fertilización. Ipiales, 2018.

Niveles de Ca-Mg-S kg.ha ⁻¹	San Isidro	Sureña	Alcalá	L27	L28
135-60-30	8,16 b	9,88 a	9,47 a	7,65 a	6,68 b
112,5-50-25	11,05 a	10,00 a	6,24 b	6,32 a	9,75 a
90-40-20	8,00 b	10,87 a	6,24 b	6,94 a	6,82 b
67,5-30-15	7,85 b	10,44 a	6,08 b	7,37 a	8,49 a
Análisis	8,13 b	11,01 a	8,69 a	5,25 b	9,22 a

Promedios con letras distintas tienen diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Las condiciones de los suelos de los sitios experimentales, características de los órdenes Andisol e Inceptisol, en condiciones naturales, presentan textura arenosa, baja saturación de bases y, en consecuencia, deficiencias en calcio y magnesio. Estos suelos, dedicados a la siembra de arveja y papa, han sido fertilizados con altas cantidades de elementos mayores y aplicaciones recurrentes de cal, lo cual, puede hacer que se registren altas cantidades de calcio y magnesio en los análisis de suelo, como se muestra en la tabla 1; no obstante, la respuesta de los rendimientos a la aplicación de estos

nutrientes puede ser, probablemente, a que su disponibilidad sea limitada por otros factores (Gómez & Castro, 2013).

De acuerdo con Zhang *et al.* (2021), la disponibilidad del magnesio en el suelo depende de condiciones, como la textura, la capacidad de intercambio y del mismo cultivo; de igual manera, la respuesta del cultivo al magnesio está correlacionada con las condiciones del suelo. En un pH menor de 6,5, el incremento medio de rendimiento fue de 11,3 %.

Al respecto, García R. & Pantoja L. (1993) manifiestan que existe una relación calcio/magnesio alta, en los suelos del altiplano de Nariño, que conduce a la deficiencia de magnesio, de la tasa de fotosíntesis y disminución de los rendimientos de los cultivos. Asimismo, Kraft & Pflieger (2001) anotan que la deficiencia de magnesio es un problema potencial en suelos arenosos y ácidos. Según Barber (1995), en cuanto a las interacciones negativas o “competencias” entre los nutrientes y la absorción por las plantas, se consideran importantes las relaciones antagónicas K^+ sobre Mg^{2+} y Ca^{2+} sobre Mg^{2+} . De acuerdo con León (1994), en general, se puede decir que los contenidos muy altos de Ca^{2+} y Mg^{2+} disminuyen la absorción del K^+ .

En Ipiales, se encontró interacción significativa, que indica una respuesta diferencial de los genotipos, a través de los niveles de fertilización evaluados. La variedad Sureña presentó rendimientos similares para todos los niveles de fertilización, en un rango de 9 a 11,44 t.ha⁻¹, incluyendo el nivel correspondiente a la aplicación del faltante azufre, establecido por la información del análisis de suelos, mientras que la variedad San Isidro presentó su mayor rendimiento con el nivel 112,5-50-25 kg.ha⁻¹, de calcio magnesio y azufre, respectivamente.

Alcalá y L28 tuvieron un mayor rendimiento con la fertilización testigo, mientras los genotipos San Isidro y L27, respondieron a los niveles superiores de fertilización (Tabla 5). De estos resultados, se deduce que los genotipos evaluados tienen diferencias en los requerimientos nutricionales, para los elementos Ca, Mg y S, lo cual, podría estar relacionado con el potencial de rendimiento de los mismos, derivado de su composición genética y de su interacción con el ambiente, en el cual, se encuentra la oferta de nutrientes para su cultivo.

En la presente investigación, la prueba de t adicional para tratamientos cruzados mostró que la variedad Sureña con el tratamiento establecido con el análisis de suelos, donde se aplicó el azufre faltante, superó a nivel del 5 % de probabilidad a San Isidro, Alcalá y a las líneas con gen afila L27 y L28, con los demás niveles de fertilización completos. Con estos resultados, se aprecia que, para algunos genotipos, como la variedad Sureña, hay efecto del azufre faltante en los cuatro sitios experimentales.

Estudios demuestran que el azufre es importante para el crecimiento adecuado, las actividades metabólicas y el desarrollo de las plantas. La cantidad de azufre necesaria para producir una tonelada de

semilla es de unos 3-4 kg de azufre, para cereales (rango 1-6); 8 kg de Azufre, para cultivos de leguminosas (rango 5-13) y 12 kg de Azufre, para cultivos oleaginosos (rango 5-20). En las plantas la absorción de sulfato, la asimilación reductora y la integración en cisteína y metionina son los procesos centrales que dirigen las formas oxidadas y reducidas de azufre a sus diversas funciones (Abou Seeda *et al.* 2020), por lo tanto, el azufre se reconoce como un cuarto nutriente vegetal principal, después de N, P y K. En promedio, los cultivos absorben azufre tanto como absorben fósforo (Saket *et al.* 2017).

El azufre es un componente esencial en el desarrollo de clorofila y la síntesis de proteínas y en el caso de las leguminosas, las bacterias rizobianas asociadas, requieren de azufre para la fijación de nitrógeno (Oldham, 2011; Saket *et al.* 2017).

Con la nutrición adecuada de P y S, para variedades de arveja, se producirían relativamente más cantidad de hojas funcionales y, en consecuencia, área de fotosíntesis, por lo tanto, aumento de fotoasimilados (Sharma *et al.* 2006; Singh & Singh, 2017).

Por otra parte, en la interacción genotipo por ambiente, los resultados obtenidos muestran que las líneas con gen afila L3 y L18 igualaron los rendimientos de las variedades comerciales Sureña, Alcalá y San Isidro, en Potosí y Pupiales, no así en Gualmatán, donde fueron superadas por la variedad San Isidro. Las líneas con gen afila L27 y L28 igualaron estadísticamente los rendimientos de las variedades comerciales Sureña y Alcalá, en Puerres y fueron superadas por Sureña, en Ipiales. Lo anterior, pone en evidencia la repuesta diferencial de los genotipos, a través de los ambientes en donde se realizó la evaluación (Tabla 6). En general, se observa que las líneas con gen afila L3, L18, L27 y L28, lograron rendimientos estadísticamente similares con, al menos, dos de los genotipos comerciales no afila (Alcalá, San Isidro y Sureña), en las diferentes localidades, lo cual, indica que el remplazo de hojas por zarcillos, derivado de la presencia del gen afila, en las líneas mencionadas, no constituye un factor de reducción de los rendimientos. Entre las bondades de los genotipos con gen afila, se pueden mencionar la menor afección por patógenos foliares, como consecuencia de la mayor circulación de aire en el dosel, con lo cual, se reduce la presión de las enfermedades sobre el follaje (Porter *et al.* 2014). En las variedades con gen afila, se pueden combinar la resistencia al acame, la menor evapotranspiración y la reducción de enfermedades foliares, por la ausencia de hojas (Parihar *et al.* 2020); el gen afila (*af*) y el gen de la altura de planta (*Le*) explican la mayor parte de la variación en el acame de las plantas de arveja (Smitchger

Tabla 6. Rendimiento de arveja voluble por genotipo, en cinco municipios del departamento de Nariño (Ton.ha⁻¹).

Genotipos	Gualmatán	Pupiales	Potosí	Genotipos	Puerres	Ipiales
Alcalá	10,70 ab	17,17 a	11,52 a	Alcalá	9,56 a	7,15 bc
San Isidro	12,07 a	17,20 a	10,12 a	S.Isidro	3,74 b	8,64 b
Sureña	10,46 ab	15,66 a	10,49 a	Sureña	8,70 a	10,45 a
L3	9,43 b	15,30 a	9,93 a	L27	9,46 a	6,71 c
L18	8,81 b	13,17 a	7,45 a	L28	7,43 a	8,19 bc

Promedios con letras distintas tienen diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

& Weeden, 2019). De igual manera, las variedades con gen afila pueden alcanzar alta productividad y ser altamente eficientes en el uso del agua, lo cual, les da la ventaja de tener mayor tolerancia a la sequía, permitiendo menor pérdida de agua por transpiración. Adicionalmente, con el remplazo de hojas por zarcillos es posible aumentar la densidad de población por unidad de área, lo cual, contribuye a aumentar el rendimiento (Pantoja G. *et al.* 2014).

De la presente investigación, se concluye que en las condiciones en las cuales se llevaron a cabo los experimentos hay respuesta de la arveja voluble a la aplicación de niveles medios y altos de calcio, magnesio y azufre, aun cuando los análisis de suelos presentaron cantidades suficientes para satisfacer el requerimiento del cultivo. En Ipiales, se encontró interacción del genotipo y el nivel de fertilización, que indica que los genotipos evaluados tienen diferencias en los requerimientos nutricionales para los elementos Ca, Mg y S, resultando menos exigentes Alcalá, Sureña y L28.

Agradecimientos. Los autores manifiestan su agradecimiento al Grupo Cultivos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, por su apoyo en el manejo de los ensayos de campo; al Centro Internacional de Producción Limpia, Sena Lope Seccional Nariño, por prestar sus instalaciones para el desarrollo de la presente investigación. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ABOU SEEDA, M.A.; ABOU EL-NOUR, E.A.A.; YASEEN A.A.; GAD MERVAT, M.; SAHAR M., Z. 2020. Importance of sulfur and its roles in Plants physiology: A Review. *Current Science International*. 9(2):198-231. <https://doi.org/10.36632/csi/2020.9.2.18>
2. BARBER, S.A. 1995. *Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach*. 2nd edition. Wiley (New York). 432p.
3. CASTRO MÉNDEZ, C.E. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras Departamento de Nariño. Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC. 253p.
4. CHECA, Ó. 2016. La arveja una zona de experiencia positiva de la investigación para los pequeños productores de la zona andina de Nariño. *El cerealista*. 119:44-47.
5. CHECA, O.E.; RODRIGUEZ, M.; WU, X.; BLAIR, M.W. 2020. Introgression of the *Afla* Gene into Climbing Garden Pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*. 10(10):1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101537>
6. CHECA CORAL, Ó.E.; GETIAL PANTOJA, J.A.; RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, D.M. 2020. Evaluación de ocho líneas de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) en seis ambientes de la zona cerealista de Nariño. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 23(1):e1211. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1211>
7. FERRARIS, G.; COURETOT, L.S. 2014. Experimentos de nutrición en el cultivo de arveja. Campaña 2012/13. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-INTA. 1-7.
8. GARCÍA R., B.; PANTOJA L., C. 1993. Fertilización y manejo de suelos en el cultivo de papa en el departamento de Nariño. Instituto Colombiano Agropecuario-ICA (San Juan de Pasto). 55p.
9. GLIESSMAN, S.R. 2002. *Agroecología. Procesos ecológicos en Agricultura Sostenible*. Ed. Litocat (Costa Rica). 359p.
10. GÓMEZ, M.I. 2006. *Manual técnico de fertilización de cultivos*. Microfertifera (Bogotá. Colombia). 116p.
11. GÓMEZ, M.I.; CASTRO, H.E. 2013. Fertilidad de suelos y fertilizantes. En: Burbano Orjuela, H.; Silva Mojica, F. (Eds.). *Ciencia del suelo: principios básicos*. 2ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (Bogotá, D.C., Colombia). p.217-218.
12. KRAFT, J.M.; PFLEGER, F. 2001. *Compendium of pea diseases and pests*. 2nd Edition. American Phytopathological Society (Minneapolis). 67p.
13. LAURENÇO, S.; CROCOMO, O.J.; NOGUEIRA, I.R.; MALAVOLTA, E. 1968. Kinetic studies of Phosphorus uptake by excise roots of barley in the presence of magnesium. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 40(2):171-179.
14. LEÓN, L.A. 1994. Evaluación de la fertilidad del suelo. En: Silva Mojica, F. (ed). *Fertilidad de suelos: diagnóstico y control*. Sociedad colombiana de la Ciencia del Suelo (Bogotá, Colombia). p.155-186.
15. LITTLE, T.M.; HILLS, F.J. 1997. *Métodos estadísticos para la investigación agropecuaria*. Ed. Trillas (México). 270p.
16. MÚNERA VÉLEZ, G.A.; MEZA SEPULVEDA, D.C. 2012. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira. 52p.
17. OLDHAM, J.L. 2011. *Secondary plant nutrients: Calcium, magnesium, and sulfur*. Mississippi State University. 2p.
18. 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):24-39. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.143102.29>
19. PARIHAR, A.K.; DIXIT, G.P.; BOHRA, A.; GUPTA, D.S.; SINGH, A.K.; KUMAR, N.; SINGH, D.; SINGH, N.P.

2020. Genetic advancement in dry pea (*Pisum sativum* L.): Retrospect and prospect. En: Singh Gosal, S.; Hussain Wani, S. (eds.). Accelerated plant breeding. volume 3. Springer Cham (Switzerland). p.283-341.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-47306-8_10
20. PATEL, M.P.; RICHHARIYA, G.P.; SHARMA, R.D.; NAMDEO, K.N. 2012. Effect of fertility levels on nutrient contents and uptake of soybean (*Glycine max*) genotypes. Crop Research (India). 44(1-2):71-74.
21. PORTER, L.D.; KRAFT, J.M.; GRÜNWALD, N.J. 2014. Release of pea germplasm with fusarium resistance combined with desirable yield and anti-lodging traits. Journal of Plant Registrations. 8(2):191-194.
<https://doi.org/10.3198/jpr2013.07.0041crg>
22. REYES CASTAÑEDA, P. 1978. Diseño de experimentos agrícolas. Trillas (México). 344p.
23. RIASCOS DELGADO, M.E.; CHECA CORAL, O.E. 2018. Evaluación y selección de líneas de arveja con gen aflu 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>
24. SAKET, R.; AGNIHOTRI, S.; PATEL, A.K.; AHIRWAR, M.K.; NAMDEO, K.N. 2017. Effect of phosphorus and sulphur on chlorophyll, yield components and yield of field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes. Annals of plant and soil research. (India). 19(3):284-287.
25. SAKET, S.; SINGH, S.B.; NAMDEO, K.N.; PARIHAR, S.S. 2014. Effect of organic and inorganic fertilizer on yield, quality and nutrients uptake of lentil. Annals of Plant and Soil Research (India). 16(3):238-241.
26. SHARMA, J.; NAMDEO, K.N.; SHRIVASTAVA, K.B.L.; PATEL, A.K.; TIWARI, O.P. 2006. Effect of fertility levels, growth regulators and biofertilizers on nutrient contents and uptake of field pea (*Pisum sativum* L.). Crop Research (India). 32(2):192-195.
27. SINGH, D. 2017. Effect of sources of phosphorus on growth, yield and nutrient uptake in pea (*Pisum sativum*). Annals of Plant and Soil Research (India). 19(2):240-242.
28. SINGH, M.; UPADHYAYA, H.D.; BISHT, I.S. 2013. Genetic and genomic resources of grain legume improvement. Elsevier (London). 305p.
<https://doi.org/10.1016/C2012-0-00217-7>
29. SINGH, R.; SINGH, A.P. 2017. Effect of phosphorus, sulphur and biofertilizers on yield, quality of uptake of nutrients in cowpea (*Vigna unguiculata*). Annals of Plant and Soil Research (India). 19(2):175-179.
30. SMITCHGER, J.; WEEDEN, N. 2019. Quantitative trait loci controlling lodging resistance and other important agronomic traits in dry field peas. Crop Science. 59(4):1442-1456.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0260>
31. WAINWRIGHT, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. Advances in Agronomy. 37:349-396.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60458-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60458-7)
32. ZHANG, Q.; TANG, D.; YANG, X.; GENG, S.; HE, Y.; CHEN, Y.; YI, X.; NI, K.; LIU, M.; RUAN, J. 2021. Plant availability of magnesium in typical tea plantation soils. Frontiers in Plant Science. 12.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.641501>