

Efecto del abono a base de hoja de coca en *Pisum sativum* L. en el Cauca, Colombia*

Effect of coca leaf fertilizer on *Pisum sativum* L. in Cauca, Colombia

AMBUILA-CHAMIZO NURY-MARCELA¹; CÓRDOBA-CERÓN, EDUARD-ESTEVEN²;
MONTES-ROJAS, CONSUELO³; ANAYA-FLOREZ, MARIA-DEL SOCORRO⁴

RESUMEN

La arveja, alverja o guisante es un cultivo que tiene un nivel proteico que oscila entre 20 y 24 %, lo cual lo convierte en un alimento importante para la seguridad alimentaria. Dado el alto contenido de fósforo y proteína es exigente en fertilización, pero altamente cultivado en varios municipios del departamento del Cauca, la investigación tuvo por objeto evaluar

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 19 febrero 2021.

Aprobado para publicación: 27 septiembre 2021.

* Título proyecto de origen: "Evaluación de abonos orgánicos a base de hoja de coca para cultivos transitorios en el Cauca". Financiación: SENA-Universidad del Cauca. Finalización: diciembre 2019.

- 1 Universidad del Cauca, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación para el Desarrollo Rural (Tull). Ingeniero (a) Agropecuario. Popayán, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2146-8684>
- 2 Universidad del Cauca, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación para el Desarrollo Rural (Tull). Ingeniero (a) Agropecuario. Popayán, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-6353-5657>
- 3 Universidad del Cauca, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación para el Desarrollo Rural (Tull). MSc. Profesora de planta. Popayán, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-8117-9465>
- 4 Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Licenciada en Biología. Popayán, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-9208-2845>

Correspondencia: cmontesr@unicauca.edu.co

Cómo citar este artículo: AMBUILA-CHAMIZO, NURY-MARCELA; CÓRDOBA-CERÓN, EDUARD-ESTEVEN; MONTES-ROJAS, CONSUELO; ANAYA-FLOREZ, MARIA-DEL SOCORRO. Efecto del abono a base de hoja de coca en *Pisum sativum* L. en el Cauca, Colombia. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v.20, n. 1, 2022, p. 124-135. Doi: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v.n.2022.1840>

el efecto del abono orgánico a base de hoja de coca en la producción de *Pisum sativum* L. en dos municipios del departamento, mediante fertilización foliar y edáfica, para comparar con la fertilización convencional. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y seis tratamientos (Testigo; CocALOFA I al 4 %; CocALOFA I al 8 %; CocALOFA II al 4 %; CocALOFA II al 8 %; CocALOFA II al 8 %) y como variables de respuesta se tuvieron los componentes de rendimiento. Se detectaron diferencias estadísticamente significativas para altura de la planta, producción en grano verde y rendimiento en Popayán, mientras en Timbío se presentaron diferencias estadísticas en altura de la planta, granos por vaina, peso de cien granos, producción en grano verde y rendimiento. El tratamiento con mejores resultados fue CocALOFA I al 4 % alcanzando alturas entre 1,57 y 1,55 m, peso de cien granos de 65 g, producción por planta de 108,3 y 100,59 g y rendimientos de 3009,28 y 2794,17 kg/ha. El rendimiento con el abono líquido orgánico mineralizado a base de hoja de coca al 4 % superó en un 34 y 28 % al biofertilizante comercial en los dos centros experimentales.

ABSTRACT

The pea, pea or pea is a crop that has a protein level that ranges between 20 and 24 %, which makes it an important food for food security. Given the high content of phosphorus and protein, it is demanding in fertilization, but highly cultivated in several municipalities of the department of Cauca, the research aimed to evaluate the effect of organic fertilizer based on coca leaf in the production of *Pisum sativum* L. in two municipalities of the department, through foliar and edaphic fertilization, to compare with conventional fertilization. A randomized complete block design was used with three repetitions and six treatments (Control; 4 % CocALOFA I; 8 % CocALOFA I; 4 % CocALOFA II; 8 % CocALOFA II; 8 % CocALOFA II) and as response variables were the performance components. Statistically significant differences were detected for plant height, green bean production and yield in Popayán, while in Timbío there were statistical differences in plant height, grains per pod, weight of one hundred grains, green bean production and yield. The treatment with the best results was 4 % CocALOFA I reaching heights between 1,57 and 1,55 m, weight of one hundred grains of 65 g, production per plant of 108,3 and 100,59 g and yields of 3009,28 and 2794,17 kg/ha. The yield with the mineralized organic liquid fertilizer based on 4 % coca leaf was 34 and 28 % higher than the commercial biofertilizer in the two experimental centers.

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es considerada como uno de los productos básicos de la economía campesina de pequeños y medianos productores, se cultiva en 11 de los 32 departamentos de Colombia, especialmente en clima frío y medio (Pomboza *et al.*, 2017) y es la segunda leguminosa más cultivada después del frijol.

El cultivo de arveja es importante en Colombia porque contribuye a la seguridad alimentaria, el grano contiene propiedades nutricionales importantes debido a los aportes de proteínas, carbohidratos, fibra y

PALABRAS CLAVE:

Arveja; Biofertilizante; Sostenibilidad; Medioambiente; Fertilización; Abonos orgánicos; Nutrición de plantas; Residuos de cosecha; *Erythroxyllum coca* Lam; Rendimiento.

KEYWORDS:

Pea; Biofertilizer; Sustainability; Environment; Fertilization; Organic fertilizers; Plant nutrition; Crop residues, *Erythroxyllum coca* Lam; Yield.

vitaminas A, B y C; cuando se consume fresca o refrigerada, suministra tiamina (Vitamina B1), fósforo y hierro (Sturbelle *et al.*, 2018). Adicionalmente, es una alternativa económica para los pequeños productores en la zona andina (Burbano *et al.*, 2018), genera oportunidades de empleo debido a la cantidad de mano de obra y alto número de labores culturales para su producción. Se estima que dependen de este cultivo más de 26.000 productores, genera alrededor de 2,3 millones de jornales y 15.000 empleos directos a nivel nacional. Su importancia para la agricultura se debe a la capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico y porque es una buena opción dentro de un plan de rotación de cultivos, ya sea a campo abierto o bajo invernadero (Serova *et al.*, 2018).

Los costos de producción se han incrementado debido al alto valor de los fertilizantes comerciales, adicionalmente, el efecto ambiental que estos ocasionan ha perjudicado el área cultivada. Los fertilizantes de síntesis química mal utilizados ocasionan ensalitramiento de los suelos, pérdida de la fertilidad natural, lixiviación de nutrientes más allá de la zona radical de los cultivos, emisión de gases de efecto invernadero y contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Chaveli, 2019). Se reporta que el uso de éstos ocasiona la disminución cualitativa y cuantitativa del crecimiento de microorganismos del suelo o bien altera su diversidad, lo que hace aumentar la fragilidad del sistema, además causa contaminación de aguas superficiales y freáticas por procesos de transferencia (Peña *et al.*, 2019). La contaminación por fertilizantes se produce cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan por acción del agua o del viento de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos (Jaime *et al.*, 2019). Los excesos de nitrógeno y fosfatos pueden infiltrarse en las aguas subterráneas o ser arrastrados a cursos de agua. Esta sobrecarga de nutrientes provoca la eutrofización de lagos, embalses y estanques y da lugar a una explosión de algas que suprimen otras plantas y animales acuáticos lo cual perjudica la rentabilidad de los productores (Cáceres, 2019).

Existen nuevas alternativas para aumentar la producción y obtener alimentos inocuos, siempre teniendo en cuenta como principio básico la conservación del medio ambiente. La biofertilización es una opción viable porque permite una producción a bajo costo, protección al medio ambiente y mantiene la conservación del suelo, desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad (Collazos *et al.*, 2018). Por lo anterior, esta investigación tuvo por objeto evaluar el efecto de un abono orgánico mineralizado producido a base de hoja de coca en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en dos municipios del departamento del Cauca, mediante fertilización foliar y edáfica, con el propósito de mejorar el rendimiento, evitar el deterioro ambiental y proponer una alternativa de la hoja de coca diferente al uso ilícito.

MÉTODO

Localización del experimento

La investigación se llevó a cabo en los municipios de Popayán y Timbío. Popayán en el centro SENA localizado al norte del municipio, a una latitud de 2°28'52.7" norte y una longitud de 76°33'33.7" oeste, a una altitud de 1.780 msnm., temperatura media de 19 °C y precipitación media anual de 1.941 mm y en Timbío en el Centro Académico y Experimental La Sultana localizado en la Vereda Urubamba, a una latitud de 2°22'29.1" norte y una longitud de 76°43'31.5" oeste, a una altitud de 1.850 msnm., temperatura media de 18 °C y precipitación media anual de 2.000 mm.

Preparación de CocALOFA

Para la preparación del abono orgánico se utilizaron hojas de coca maceradas y harina proveniente de hoja de coca, material disponible en zonas cocaleras del Cauca, que puede ser utilizado como materia prima en la elaboración de abonos orgánicos para aprovechar sus cualidades nutricionales a través del compostaje y la fermentación (Anaya and Troyano, 2017).

Inicialmente, se maceraron las hojas de coca hasta obtener 2,5 kg y se colocaron en un recipiente plástico que contenía 6 L de agua. Después, en diferentes recipientes, se diluyeron 100 g de cada sulfato (Cobre, Zinc, Magnesio, Manganeso, Calcio, Potasio, Hierro) en 500 mL de agua cada uno, a cada sulfato se adicionaron 5 mL de

zumo de limón como agente quelante; estas soluciones se agregaron al recipiente en el orden indicado. Luego, en 500 mL de agua se disolvieron 30 g de vitaminas granuladas (se pueden reemplazar por 1 kg de frutos o de flores); aparte se diluyeron 100 g de ácido bórico en 500 mL de agua caliente y 50 g de levadura comercial para diluirla en 2 L de agua a una temperatura menor de 40 °C o agregar 2 L de levadura casera.

Posteriormente, se adicionaron 500 g de cal fosforita, 200 g de ceniza cernida y 100 g de compost maduro. En otro recipiente se mezcló 1 kg de miel de purga con 5 L de agua hasta disolver completamente, esta mezcla se adiciono a la solución total. Posteriormente, se agregaron 100 mL de ácidos húmicos y fúlvicos.

En la medida que se adicionaron los insumos se mezcló uniformemente la mezcla. Finalmente, se mezcló a ritmo constante durante 5 minutos, se tapó con una estopa, malla o zarán seco y limpio que permitiera la fermentación aeróbica y se amarró con fibra. Se marcó el recipiente con la fecha de preparación y el nombre del producto.

Culminado el proceso, se dejó fermentar durante 15 días, periodo después del cual la mezcla fue cernida, para luego empacar y conservar en un lugar fresco y oscuro. El procedimiento descrito permite obtener 20 L de CocALOFA I. El mismo procedimiento se repite para preparar CocALOFA II, solo que se emplea en vez de hoja, 500 g de harina de coca.

Diseño experimental

En las dos unidades productivas se empleó un diseño de bloques completos al azar con 6 tratamientos y 3 repeticiones con distancia entre surcos de 0,8 m y entre plantas de 0,45 m, siendo el factor de bloque la pendiente.

Descripción de los tratamientos

En el Cuadro 1 se describen los tratamientos para estudiar el efecto del abono orgánico líquido mineralizado a base de hoja de coca CocALOFA I y CoCALOFA II.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Producto	Dosis/ planta	Tipo aplicación	DDS
T0= testigo	10-30-10	30 g	Edáfica	30 y 45
	25-4-25	50 g	Edáfica	30 y 45
T1	CocALOFA I al 4 %	50 mL	Foliar	15
		100 mL	Edáfica	30
		50 mL	Foliar	45
		100 mL	Edáfica	
T2	CocALOFA I al 8 %	50 mL	Foliar	15
		100 mL	Edáfica	30
		50 mL	Foliar	45
		100 mL	Edáfica	
T3	CocALOFA II al 4 %	50 mL	Foliar	15
		100 mL	Edáfica	30
		50 mL	Foliar	45
		100 mL	Edáfica	
T4	CocALOFA II al 8 %	50 mL	Foliar	15
		100 mL	Edáfica	30
		50 mL	Foliar	45
		100 mL	Edáfica	
T5	Fertilizante orgánico comercial	50 mL	Foliar	15
		50 mL	Foliar	30
		50 mL	Foliar	45

*DDS= Días después de siembra

En el cuadro 2 se describe la composición nutricional de fertilizante orgánico comercial.

Cuadro 2. Composición del fertilizante orgánico comercial.

Elemento		%
Nitrógeno -Total	N-Total	60,00
Nitrógeno - Nítrico	N-HN ₃	18,00
Nitrógeno -Amoniacal	N-HN ₄	16,00
Nitrógeno - Ureico	N	26,00
Fósforo soluble en agua	P ₂ O ₅	15,00
Potasio soluble en agua	K ₂ O	76,00
Calcio soluble en agua	CaO	0,80
Magnesio soluble en agua	MgO	4,50
Azufre soluble en agua	S	3,80
Silicio soluble en agua	SiO ₂	6,20
Carbono orgánico oxidable	COO	113,00
pH en solución al 10 %	p H	5,30
Densidad a 20 °C	Ds	1,20
Conductividad eléctrica 1:200	CE	2,28 Ds/m

Fuente: (Ecoline, 2020)

Variables de respuesta

Para evaluar el efecto del CocALOFA sobre arveja (*Pisum sativum* L.) se registraron los componentes de rendimiento (número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de cien granos, producción y rendimiento) y altura de planta.

Altura de la planta (AP). Se midió la longitud desde el cuello hasta la hoja bandera donde empezaron a salir los zarcillos, en una muestra de 10 plantas/parcela. Se midió cuando las plantas alcanzaron su altura máxima (60 DDS).

Número de vainas por planta (VP). Una vez realizada la cosecha (85 DDS) se hizo el conteo de todas las vainas. Para la cosecha total se hicieron 3 pases, al final se sumaron todas las vainas y se dividió entre el número de plantas.

Número de granos por vaina (GV). Del área útil de cada parcela se escogió una muestra al azar de 50 vainas y se realizó el conteo de granos.

Peso de cien granos (PC). Se pesaron 5 muestras de 100 granos por cada parcela y se obtuvo el promedio.

Producción (Pn). Se pesaron primero las vainas con grano y luego los granos solos. Después, se calculó la producción como la sumatoria de las cosechas de las plantas totales del área útil y se dividió entre el número de plantas. Así se obtuvo la producción por planta con vainas y sin vainas.

Relación grano vaina (RGV). Se obtuvo de dividir el peso de los granos sobre el peso de las vainas con grano.

Rendimiento (Rto). Una vez se obtuvo la producción por planta, se multiplicó por el número de plantas por ha, de acuerdo a la densidad de siembra, para obtener el rendimiento/ha.

Siembra y manejo del cultivo

Se realizó de forma manual depositando dos semillas por golpe. Se emplearon semillas de la variedad Piquinegra. En el momento de la siembra se aplicaron 100 g de cal dolomita por sitio, en todas las parcelas; 500 g de lombricompost de hoja de coca a las parcelas de los tratamientos 1, 2, 3 y 4 y 500 g de compost tradicional a las parcelas de los tratamientos 0 y 5, como nutrición complementaria.

El manejo cultural incluyó tutorado, deshierba, aporque, manejo preventivo de plagas y enfermedades. Estas labores se programaron de acuerdo al ciclo fenológico del cultivo.

El tutorado se hizo antes de que las plantas emitieran la primera guía, empleando tutorado vertical.

El control de arvenses y aporque se realizó de forma manual y con azadón, en dos ocasiones, la primera a los 25 días después de siembra (DDS) y la segunda a los 45 DDS.

En cuanto al manejo fitosanitario, se hizo de manera preventiva aplicando bio-insecticidas comerciales, que son insecticidas orgánicos los cuales tienen extractos de neem, ajo y ají y se utilizaron para el control de tierrero (*Agrotis ipsilon*). Mientras que para el control de hongos y en especial para la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) se utilizó caldo bordelés en una concentración del 1%.

Análisis estadístico

Para el análisis de la información se utilizó el programa SPSS statistics 22, se aplicó estadística descriptiva y, posteriormente, se confirmó la normalidad de los datos para realizar análisis de varianza de dos factores (bloques y tratamientos) con el fin de determinar si había diferencias estadísticamente significativas entre bloques y luego entre tratamientos, dado que la investigación se realizó en una ladera que tiene gradiente de fertilidad, cada bloque representa un gradiente. Para establecer cuáles fueron las diferencias significativas entre tratamientos observadas, se realizó la prueba post hoc de promedios de Duncan

RESULTADOS

Caracterización y composición del CocALOFA

Los abonos líquidos orgánicos mineralizados a base de hoja de coca CocALOFA I y CocALOFA II, como se observa en el Cuadro 3, contienen la mayoría de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.

Los resultados diferenciales de los análisis entre los dos abonos, se deben a que la harina de coca tiene menor cantidad de nutrientes por la pérdida en el proceso de secado para la obtención de harina, debido a que los aminoácidos y vitaminas son sensibles a temperaturas altas y los minerales pueden perderse en el proceso de extrusión de la hoja (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación resultados análisis CocALOFA I Y II.

Parámetro	Resultado		Unidades	Método analítico
	CocALOFA I	CocALOFA II		
Carbono orgánico oxidable total	18,1	8,96	g/L	Wakley-Black (NTC 5167)
pH	7	4,52	Unidades pH	Potenciométrico
Densidad (20 °C)	1,01	1,01	g/cm ³	Gravimétrico (NTC 5167)
Conductividad eléctrica 1:200	0,29	0,2	dS/m	Potenciométrico
Sólidos insolubles	0,18	3,77	g/L	Gravimétrico (NTC 5167)
Nitrógeno total (Norg)	2,78	2,09	g/L	Sumatoria
Nitrógeno Orgánico (nOrg)	2,78	2,09	g/L	Micro-Kjeldhal (NTC 5167)
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,07	0,71	g/L	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio (K ₂ O)	11,8	5,61	g/L	Abs. Atómica (NTC 5167)
Calcio (CaO)	1,55	2,28	g/L	Abs. Atómica (NTC 5167)
Magnesio (MgO)	1,98	1,53	g/L	Abs. Atómica (NTC 5167)
Azufre (S-SO ₄)	4,51	3,5	g/L	Turbidimétrico (NTC 5167)
Hierro	0,16	0,84	g/L	Abs. Atómica (NTC 5167)
Manganeso	444	1133	mg/L	Abs. Atómica (NTC 5167)
Cobre	20	480	mg/L	Abs. Atómica (NTC 5167)
Zinc	406	1402	mg/L	Abs. Atómica (NTC 5167)
Boro	8,9	11	mg/L	Colorimétrico (NTC 5167)
Sodio	0,37	0,16	g/L	Emisión de llama (NTC 5167)

Respuesta a los tratamientos

En el Cuadro 4 se relacionan los promedios obtenidos en cada variable de respuesta tras la aplicación de los tratamientos, como se puede observar los mejores resultados en rendimiento se obtuvieron con el T1.

En los dos municipios, los mayores promedios para altura, vainas/planta, producción y rendimiento se obtuvieron con el T1, superando en un 6 % al T2 en altura, en un 36 % al T5 en vainas por planta y en un 35 % al T4 en producción en grano verde y rendimiento en Popayán, mientras en Timbio el T1 superó en un 30 % al T5 para vainas/planta, en un 13 % al T0 para peso de 100 granos y en un 29 % al T3 para producción y rendimiento comparando con respecto al testigo.

Todas las plantas presentaron porte alto, indeterminado o voluble y se encuentran dentro del rango de la variedad que oscila entre 1 y 2 m (Singh *et al.*, 2019), igualmente sucedió con el número de granos por vaina y peso de cien granos en donde los promedios fueron muy similares entre tratamientos y coinciden con las características morfológicas de esta variedad, cuyo peso de cien granos está alrededor de 52 g y la cantidad de granos por vaina está entre 5 y 7.

En cuanto a la relación peso grano/peso vaina (RGV) en Popayán, la mejor relación la obtuvo el T3 con el 69 % y la más baja el T1 con el 64 %; en Timbio el T2 mostró una RGV de 61 %; T0, T1 y T3 de 64 %; T5 de 65 % y T4 de 66 %. En general, el peso de la vaina en todos los tratamientos, osciló entre 34 y 39 %, lo que indica que el mayor peso se encuentra en el grano, siendo este un componente relevante para la aceptabilidad del producto.

La relación grano vaina (RGV) es un factor importante que influye en la aceptación del producto en el mercado de arveja en vaina verde o en fresco. Una relación grano vaina alta significa que el mayor peso del producto se encuentra en el grano y no en la vaina, lo cual mejora su precio en el mercado (Burbano *et al.*, 2018).

Cuadro 4. Promedios de las variables de respuesta evaluadas y diferencias significativas de DUNCAN.

Tratamiento	Altura (m)	Vainas/planta	Granos/vaina	Peso 100 granos (g)	Pn/pl en vaina (g/pl)	Pn/pl en grano verde (g/pl)	Rendimiento en grano verde (kg/ha)
Centro Agropecuario SENA (Popayán)							
T0	1,53 B	31,66	5,25	64,44	128,66	82,33 C	2287,05 C
T1	1,57 C	37	5,25	67,44	168,33	108,33 D	3009,28 D
T2	1,47 A	27	5,66	64,33	111,66	76,00 B	2111,12 B
T3	1,55 B	28,66	5,41	67,33	117,66	81,66 C	2268,53 C
T4	1,50 A	26,66	5,66	68,44	107,66	70,66 A	1962,97 A
T5	1,50 A	23,66	5,16	69	108,33	71,00 A	1972,23 A
Centro Académico y Experimental La sultana (Timbío)							
T0	1,56 C	29,63	5,25 A	56,66 A	144	92,10 C	2558,44 C
T1	1,55 C	31,34	6,08 B	65,00 C	158	100,59 D	2794,17 D
T2	1,47 A	24,75	6,16 B	59,44 A	140	85,06 B	2362,35 B
T3	1,50 B	23,35	6,50 C	63,77 B	111,66	71,60 A	1989,26 A
T4	1,50 B	24,1	6,08 B	63,11 B	111,33	72,97 A	2027,10 A
T5	1,52 B	22,05	5,91 B	59,44 A	111,66	72,73 A	2020,74 A

Todos los tratamientos con fertilización orgánica a base de hoja y harina de coca obtuvieron los mejores promedios respecto a número de granos por vaina. Si el NGV se sitúa entre tres y cuatro se considera bajo, medio entre cinco a seis y alto mayor de seis (Torres *et al.*, 2020).

Los resultados obtenidos con el tratamiento 1 se atribuyen a que el abono orgánico contiene los elementos esenciales que requiere una planta para su normal desarrollo y crecimiento, a diferencia del fertilizante de síntesis química que sólo aporta los elementos primarios nitrógeno, fósforo y potasio. Los resultados con CocALOF A I se atribuyen a que tiene mayor cantidad de nutrientes que CocALOF A II, que se prepara con harina de coca y en proceso pierde propiedades nutricionales porque se conservan las características nutricionales de la planta de coca. La coca (*Erythroxylum coca* spp) contiene nutrientes como proteínas, carbohidratos, fibras, calcio, hierro, fósforo, vitamina A y riboflavina, que lo hacen útil en la nutrición animal, vegetal y humana (Debouck, 2017). El tratamiento 2, a pesar de tener mayor dosis, no presentó buenos resultados, lo que implica que a la planta le afecta la mayor concentración de nutrientes.

De forma semejante, el fertilizante orgánico comercial no contiene oligoelementos esenciales como hierro, manganeso, cobre, zinc y boro, elementos desempeñan funciones importantes en las plantas y, cuando están presentes en cantidades insuficientes, pueden producirse graves alteraciones y reducirse notablemente el crecimiento y la producción (Singh *et al.*, 2019).

La arveja requiere de diferentes nutrientes, en especial los macronutrientes, la fertilización con abonos orgánicos mineralizados es una buena opción porque contiene la mayoría de los nutrientes que cumplen una acción determinada en la fisiología del cultivo (Singh *et al.*, 2019).

El análisis de varianza ANOVA ($p \leq 0,05$), detectó diferencias estadísticamente significativas para las variables altura de la planta, producción en grano verde y rendimiento (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza en los dos centros de investigación.

VARIABLES DE RESPUESTA		Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F	Sig.
Centro agropecuario SENA						
Altura (m)	Entre-Tratamientos	0,21	5	0,042	3,798	,003*
	Dentro-del tratamiento	1,926	174	0,011		
	Total	2,136	179			
Vainas/planta	Entre-Tratamientos	327,111	5	65,422	0,978	0,47
	Dentro-del tratamiento	802,667	12	66,889		
	Total	1129,778	17			
Granos/vaina	Entre-Tratamientos	2,903	5	0,581	0,595	0,7
	Dentro-del tratamiento	64,417	66	0,976		
	Total	67,319	71			
Peso de 100 granos (g)	Entre-Tratamientos	178,833	5	35,767	1,069	0,39
	Dentro-del tratamiento	1606,667	48	33,472		
	Total	1785,5	53			
Producción/planta en grano verde (g/pl)	Entre-Tratamientos	2935,333	5	587,067	54,75	,000*
	Dentro-del tratamiento	128,667	12	10,722		
	Total	3064	17			
Rendimiento (kg/ha)	Entre-Tratamientos	2264953,9	5	452990,79	54,75	,000*
	Dentro-del tratamiento	99281,424	12	8273,452		
	Total	2364235,4	17			
Centro Académico y experimental La sultana						
Altura (m)	Entre-Tratamientos	0,158	5	0,032	2,792	0,019*
	Dentro-del tratamiento	1,856	164	0,011		
	Total	2,014	169			
Vainas/planta	Entre-Tratamientos	193,178	5	38,636	1,469	0,28
	Dentro-del tratamiento	289,315	11	26,301		
	Total	482,493	16			
Granos/vaina	Entre-Tratamientos	7,951	5	1,59	1,218	0,031*
	Dentro-del tratamiento	80,917	62	1,305		
	Total	88,868	67			
Peso de 100 granos (g)	Entre-Tratamientos	396,523	5	79,305	4,101	0,004*
	Dentro-del tratamiento	870,222	45	19,338		
	Total	1266,745	50			
Producción/planta en grano verde (g/pl)	Entre-Tratamientos	2095,489	5	419,098	63,94	0,000*
	Dentro-del tratamiento	72,106	11	6,555		
	Total	2167,595	16			
Rendimiento (kg/ha)	Entre-Tratamientos	1615396,9	5	323079,38	149,3	0,000*
	Dentro-del tratamiento	23805,126	11	2164,102		
	Total	1639202	16			

*Diferencia estadística altamente significativa

La prueba de comparación de promedios de Duncan ($p=0,05$) formó entre dos y 4 grupos para las variables de respuesta (Cuadro 4). Aunque hubo diferencias significativas en altura de planta, los resultados estuvieron dentro del rango que alcanza la variedad piquinegra, resultados coinciden con lo reportado por Riascos *et al.* (2018), quienes obtuvieron un valor de 1,56 m con fertilización de síntesis química, aclarando que en esta investigación el mayor valor obtenido fue con abono orgánico.

Como se puede apreciar, los resultados con CocALOFA en menor concentración, tanto con base en hoja de coca o con harina de coca, tuvieron las mayores producciones y rendimientos, siendo el mejor T1 (CocALOFA I la 4 %). Este comportamiento se atribuye a que el abono orgánico mineralizado contiene los elementos esenciales para el buen desarrollo del cultivo y cumplimiento de sus funciones fisiológicas (Montes *et al.*, 2019), brinda tanto macro como micro nutrientes que ayudan a mejorar la nutrición de las plantas.

El rendimiento en grano verde alcanzado por T1 en Popayán superó en 31,56 % al testigo (T0), mientras en Timbío en el 9,22 %. Estos resultados son similares a los reportados por Riascos *et al.* (2018) que obtuvieron un rendimiento de 2919 kg/ha.

Las parcelas a las cuales se les aplicó fertilizante orgánico comercial y CocALOFA I y II presentaron mayor número de granos por vaina superando a la fertilización de síntesis química, posiblemente porque esta última aporta sólo tres de los nutrientes esenciales para las plantas (nitrógeno, fósforo y potasio), mientras que los demás brindan nutrientes principales, secundarios y micronutrientes que ayudan a mejorar la nutrición de las plantas. Esta característica es bastante influenciada por la disponibilidad de luz, agua y nutrientes (Álvarez *et al.*, 2020), aunque Cazzola *et al.* (2019) afirman que el número de granos por vaina es un carácter cuya expresión depende en alto grado de la composición genética del material y del manejo agronómico que permite que se exprese bien la característica.

Para la variable peso de 100 granos, el tratamiento con CocALOFA I al 4 % en Timbío obtuvo el mejor promedio diferenciándose del más bajo que fue T0 en 8,34 g. Esta característica es importante puesto que representa la parte útil para el consumo de esta leguminosa, por lo general, son muy apreciadas en el mercado las variedades con mayor peso de grano (Majeed *et al.*, 2019). Además, es de anotar que los tratamientos con base en hoja de coca y el fertilizante orgánico comercial fueron superiores a los alcanzados con la fertilización convencional, posiblemente porque la hoja de coca posee minerales que son importantes para la nutrición de las plantas, tales como proteína cruda (20,2 %), fósforo (1.400 mg), calcio (1.600 mg), potasio (1,10 mg) y hierro (55,8 mg) (Mattos, 2014). Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Riascos *et al.* (2018), quien consiguió rendimientos entre 2133 y 2838 kg/ha tras la inoculación con *Rhizobium leguminosarum*, *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens*.

En general, es importante mencionar que las plantas mostraron una buena respuesta tras la aplicación tanto del abono orgánico mineralizado a base de hoja de coca como del fertilizante NPK, precisando que el CocALOFA presentó mejores resultados en altura, vainas/planta, peso de 100 granos, producción y rendimiento, lo cual se atribuye a que el uso de abonos orgánicos mejora las propiedades del suelo y la productividad de los cultivos, además, hacen un aporte significativo de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) y brindan nutrientes secundarios y micronutrientes que ayudan a mejorar la nutrición de la planta (Bobillea *et al.*, 2019).

Por otra parte, a pesar de que en los dos municipios las plantas mostraron buen vigor y expresaron las características propias de su variedad, considerando la sumatoria de todos los tratamientos se pudo determinar que el rendimiento en Timbío fue superior en 120 kg a lo obtenido en Popayán. Esta diferencia se atribuye a que los suelos en Timbío han sido cultivados por mucho tiempo y han realizado rotación de cultivos con grandes aportes de materia orgánica, por lo tanto, es un suelo con buena porosidad que permite un adecuado desarrollo de raíces, retención de agua, aireación y drenaje, mientras en Popayán son suelos que no se han cultivado, vienen de pasturas y han tenido cero aportes de materia orgánica.

Los resultados permiten sugerir que la hoja de coca puede tener un uso alternativo como componente de abonos orgánicos líquidos y sólidos, teniendo en cuenta que contiene 2,1 % de nitrógeno total, 2744 mg/kg de fósforo total, 92 mg/kg de sodio total, 12240 mg/kg de potasio total, 9574 mg/kg de calcio total, 2548 mg/kg de magnesio total, 94 % de materia orgánica, 6 % de ceniza, 13 % de proteína total, pH de 4,9 y conductividad eléctrica de 4540 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Apaza *et al.*, 2015), es un material vegetal que tiene usos potenciales lícitos importantes en la nutrición de cultivos.

La hoja de coca es una alternativa para que los productores puedan disminuir los costos de producción al reemplazar los fertilizantes de síntesis química, de forma parcial o total, ya que estos tienen alto costo en el mercado.

CONCLUSIONES

En los dos municipios el cultivo de arveja respondió a la aplicación del abono líquido orgánico mineralizado a base de hoja de coca al 4 %, superando al testigo en un 20 % promedio. El rendimiento con el abono líquido orgánico mineralizado a base de hoja de coca al 4 % superó en un 34 y 28 % al abono orgánico comercial en Popayán y Timbío respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca y al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), por el apoyo en la realización del trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, DAVID; CHAVES-MORILLO, DIANA; GÓMEZ-LOPES, EYDER; HURTADO-BENAVIDES, ANDRÉS. Estimación del riesgo ambiental causado por plaguicidas en cultivos de arveja de Ipiales, Nariño-Colombia. *TecnoLógicas*, v. 23, n. 47, 2020, p. 77-91.
<https://doi.org/10.22430/22565337.1404>
- ANAYA-FLOREZ, MARIA-DEL SOCORRO; TROYAN-SÁNCHEZ, DORA-LUCILA. Producción tecnificada de abonos orgánicos sólidos y líquidos a partir de hoja de coca para la fertilización de cultivos transitorios. Popayán (Colombia): Centro Regional SENA, 2017, 34 p.
- APAZA-CONDORI, EMMA-EVA; MAMANI, PATI-FRANCISCO; SAINZ-MENDOZA, HUMBERTO. Sistema de compostaje para el tratamiento de residuos de hoja de coca con la incorporación de tres activadores biológicos, en el centro experimental de Kallutaca. *Journal of the selva andina Biosphere*, v. 3, n. 2, 2015, p. 75-85.
- BOBILLEA, HELENE; FUSTEC, JOELLE; ROBINS, RICHARD J.; CUKIERB, CAROLINE; LIMAMI, ANIS M. Effect of water availability on changes in root amino acids and associated rhizosphere on root exudation of amino acids in *Pisum sativum* L. *Phytochemistry*, v. 61, 2019, p. 75-85.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.01.015>
- BURBANO-ERAZO, ESTEBAN; DOMINGUEZ-CHAUZA, JHON-JAIRO; CHECA-CORAL, OSCAR-EDUARDO. Efecto de cinco densidades de siembra en líneas de arveja *Pisum sativum* L. con el gen mutante afila. *Investigación Agraria*, v. 20, n. 1, 2018, p. 22-29.
<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2018.junio.22-29>
- CACERES-URIBE, ANGELA-NATALIA. Estudio de los cuerpos lénticos en el escenario de cambio climático, una mirada a Colombia. *Revista Pertinencia Académica*, v. 3, n. 3, 2019, p. 29-50.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3516301>
- CAZZOLA, FEDERICO; MAGLIA, FERNANDO; GUINDÓN, FERNANDA; BERMEJO, CAROLINA JULIETA. Selección de progenitores para planes de cruzamiento en arveja (*Pisum sativum* L.) y estimación de parámetros genéticos mediante el uso de blup. *Ciencias Agronómicas, Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR*, v. 33, n. 19, 2019, p. 7-12.
- COLLAZOS-SILVA, ROICER; NERY-CHAVEZ, JUAN-CARLOS; HUAMAN-HUAMÁN, EYNER. Rendimiento de tres cultivares de arveja (*Pisum sativum* L.) con aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos en el anexo de Taquia, Chachapoyas. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, v. 2, n. 2, 2018, p. 26- 33.
- CHAVELI-CHAVEZ, PAVELI. Fertilización organomineral en el manejo sostenible de tierras cultivadas con maíz (*Zea mays* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, v. 7, n. 3, 2019, p.116-122.
- DEBOUCK-DANIEL G. En: *Domesticación en el continente americano*. 1 ed. Lima (Perú): Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), 2017, p.135-149.

- ECOLINE – Expertos en nutrición vegetal. 2020. <http://ecolineagricola.com/product/eko-soil/>. [citado 20 de diciembre de 2020].
- JAIME-CALDERON, FRANKLIN-ECUADOR; CASTRO-GUERRA, JORGE-WILLIAM; ORLANDO-LUCIO, DIOMEDES-AUGUSTO. Impacto ambiental provocado por el inadecuado uso de fertilizantes químicos en cultivos de maíz. v. 3, n. 1, 2019, p. 61-72.
- MAJEED, ABDUL; MUHAMMAD, ZAHIR; SIYAR, SAIRA. Assessment of heavy metal induced stress responses in pea (*Pisum sativum* L.). Acta Ecologica Sinica, v. 39, 2019, p. 284–288.
<https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.12.002>
- MATTOS-VAZUALDO DIEGO. Coca y representación: La hoja de coca en la constitución de la nación boliviana en la época neoliberal. Latin American Research Review, v. 49, n. 1, 2014, p. 23-38
- MONTES-ROJAS, CONSUELO; ANAYA-FLOREZ, MARIA-DEL SOCORRO. Efecto de la fertilización con abono orgánico (A.L.O.F.A) en plantas de café (*Coffea arabica*). Scientia et Technica, v. 24, n. 2, 2019. p. 331-339.
- PEÑA-MURILLO, SANDRA E.; ZAMBRANO-NEVÁREZ, EDDIE; BAQUERIZO-FIGUEROA, JULIO; ANTÓN-LOOR, ANGEL; SOLÓRZANO-ALDAZ, KATHERIN. Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos. Journal of Information Systems and Technologies, E21, 2019, p. 226-236.
- POMBOZA-TAMAQUIZA, PEDRO-PABLO; NAVARRO-GARZA, HERMILIO; PÉREZ-OLVERA, MARIA-NTONIA; FLORES-SANCHEZ, DIEGO. Prácticas organizativas mixtecas asociadas con la seguridad alimentaria y su patrimonio. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas, v. 8. n. 18, 2017, p. 3697-3710.
<http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v8i18.215>
- RIASCOS-DELGADO, MARCELA-ELIZABETH; CHECA-CORAL, OSCAR-EDURADO. Evaluación y selección de líneas de arveja con gen afila bajo dos densidades de población. Revista UDCA Actualidad y divulgación científica, v. 21, n. 2, 2018, p. 367-376.
<http://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.984>
- SEROVA, TATIANA A.; TSYGANOVA, ANA V.; TSYGANOV, VIKTOR E. Early nodule senescence is activated in symbiotic mutants of pea (*Pisum sativum* L.) forming ineffective nodules blocked at different nodule developmental stages. Protoplasma, v. 255, 2018, p. 1443–1459.
- SINGH, SIMRANJEET; VIJAY, KUMAR; GURPREET-KAUR, SIDHU; CHIVITA, DATTA; DALJEET-SINGH, DHANJAL; BHUPENDRA, KOULF; HARMEET-SINGH, JANEJA; JOJINFER, SINGH. Plant growth promoting rhizobacteria from heavy metal contaminated soil promote growth attributes of *Pisum sativum* L. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v. 17, 2019, p. 665–671.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.01.035>
- STURBELLE-SCHIAVON, JOSUAN; PERIPOLLI-BEVILAQUA, GILBERTO-ANTONIO; SCHIAVON-ALBUQUERQUE, TATIANA; ARAUJO-PINHEIRO, PAULO-EFDUARDO; DA ROCHA, EBERHARDT; FERREIRA-ANTUNES, IRAJÁ. Evaluation of pisum cultivars of double-purpose for diversification of ecological agricultural systems. Brazilian Journal Of Development, v. 4. n. 6, 2018, p. 3147-3153.
- TORRES-MARTÍNEZ, FRANCISCO-JAVIER; RIVADENEIRA-MIRANDA, CARLOS-NELSON; CASTILLO-MARÍN, ÁLVARO-JOSÉ. Producción y comercialización de arveja en el departamento de Nariño-Colombia. Agronomía Mesoamericana, v. 31, n. 1, 2020, p. 129-140.
<http://doi.ORG/10.15517/am.v31i1.36776>