

Nota técnica

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ABONOS VERDES EN EL CRECIMIENTO Y EL RENDIMIENTO DEL *Phaseolus vulgaris*

Diego David Jamioy*

Keywords: *Phaseolus vulgaris*; green manure; *Arachis pintoi*; ashes.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*; abono verde; *Arachis pintoi*; cenizas.

Recibido: 28/11/17

Aceptado: 28/02/18

RESUMEN

El cultivo del *Phaseolus vulgaris* es de vital importancia para la economía campesina latinoamericana, ya que es uno de los ingredientes básicos de la dieta alimentaria. En Colombia se cultivan alrededor de 104 175 hectáreas con una producción de 130 988 toneladas al año, cantidad insuficiente para abastecer la demanda interna, por lo que es necesario aumentar el rendimiento de este cultivo sin incrementar los costos de producción. Por tanto, en esta investigación se estimó el desempeño del *Phaseolus vulgaris* con la aplicación de *Arachis pintoi* como abono verde en lo referente al crecimiento y al rendimiento, para lo cual se establecieron en casa de mallas 6 tratamientos con un testigo, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 bloques. Los tratamientos consistieron en la aplicación de abono verde fresco incorporado al suelo (T1) y sobre la superficie (T2), abono verde seco incorporado al suelo (T3) y sobre la superficie (T4) y cenizas del abono verde incorporadas al suelo (T5) y sobre la superficie (T6), al testigo no se le aplicó abono verde. Al finalizar el ensayo se evaluaron variables asociadas a la

ABSTRACT

Effect of the application of green manures on the growth and performance of *Phaseolus vulgaris*. The cultivation of *Phaseolus vulgaris* is of vital importance for the Latin American peasant economy, since it is one of the basic ingredients of the diet. In Colombia around 104 175 hectares are cultivated with a production of 130 988 tons per year, an insufficient quantity to supply domestic demand, so it is necessary to increase the yield of this crop without increasing production costs. Therefore, in this investigation the performance of *Phaseolus vulgaris* was estimated with the application of *Arachis pintoi* as a green manure in relation to growth and yield, for which 6 treatments with a control were established in the house of meshes, a design was used of complete blocks at random with 4 blocks. The treatments consisted in the application of fresh green manure incorporated into the soil (T1) and on the surface (T2), dry green manure incorporated into the soil (T3) and on the surface (T4) and green manure ash incorporated into the soil (T5) and on the surface (T6), the green manure was not applied to the control. At the

* Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Colombia. Correo electrónico: ddjamioyo@unal.edu.co

acumulación de materia seca y variables asociadas a rendimiento. Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos para la mayoría de las variables evaluadas. Los mejores desempeños en crecimiento y rendimiento los presentaron de mayor a menor el T2, T4 y T1, y los de más bajo desempeño en orden descendente fueron el T6, testigo y T5. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que la aplicación de abono verde contribuye a incrementar la biomasa seca y el rendimiento del *Phaseolus vulgaris*, pero este incremento no está relacionado con los nutrientes que aporta el abono verde, pues los tratamientos con solo cenizas fueron los que presentaron los más bajos desempeños en las variables evaluadas.

end of the experiment, variables associated with the accumulation of dry matter and variables associated with yield were evaluated. The results obtained showed statistical differences ($p \leq 0.05$) between treatments for most of the variables evaluated. The best performances in growth and yield were presented from highest to lowest in T2, T4 and T1, and the lowest performing in descending order were T6, control and T5. According to the results obtained, it is concluded that the application of green manure contributes to increase the dry biomass and the yield of *Phaseolus vulgaris*, but this increase is not related to the nutrients provided by the green manure, as the treatments with only ashes were those who presented the lowest performances in the variables evaluated.

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se cultiva en muchos lugares del mundo, ya que es una de las leguminosas de mayor importancia en la dieta alimentaria de la población humana, por su alto contenido de proteínas (Domínguez *et al.* 2012) y es uno de los cultivos de América Latina considerado como producto básico de la economía campesina.

En Colombia el cultivo del frijol común es de mucha importancia como generador de ingresos y empleo rural, y como producto clave en la seguridad alimentaria de la población. A este cultivo se dedican pequeños productores que siembran 104 175 hectáreas, con una producción de 130 988 toneladas al año, que no son suficientes para abastecer el consumo interno (FENALCE 2016).

En los últimos años el frijol común en Colombia ha perdido competitividad frente a la producción de otros países en el marco de la globalización, especialmente por los altos

costos de producción, los cuales están asociados principalmente al uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos y plaguicidas, lo que, además, genera efectos negativos al medio ambiente (Arias *et al.* 2007).

De acuerdo con lo anterior, es prioritario implementar estrategias ecoeficientes encaminadas a disminuir los costos de producción e incrementar la productividad, pero sin afectar el medio ambiente, es decir, que con su aplicación se pueda obtener un mejor desempeño agronómico del cultivo con un mínimo impacto ambiental.

Una alternativa es la aplicación de abonos verdes para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelo, con el fin de que el frijol (*Phaseolus vulgaris*) tenga una capa arable, donde pueda nacer, crecer y desarrollarse sin ningún inconveniente, para expresar su máximo potencial productivo.

La aplicación de abonos verdes al suelo es una tecnología agroambiental sostenible que permite mejorar el desempeño agronómico de

las plantas (Sanclemente 2013), porque incrementa la disponibilidad de nutrientes, la eficiencia de la fertilización aplicada y la actividad microbiana del suelo.

Diferentes estudios han demostrado que la aplicación de abonos verdes mejora las propiedades físicas (Yang *et al.* 2014, Adekiya *et al.* 2017), químicas (Naz *et al.* 2015, Adekiya *et al.* 2017) y biológicas del suelo (Elfstrand *et al.* 2007, Tejada *et al.* 2008), lo cual repercute favorablemente en la productividad.

El uso de abonos verdes en la agricultura ha sido una práctica muy efectiva para incrementar el rendimiento de los cultivos, como por ejemplo en arroz (Muñiz *et al.* 2012), tabaco (Bilalis *et al.* 2009) y maíz (Tejada *et al.* 2008). El incremento en el rendimiento de los cultivos por la aplicación de abonos verdes ha sido relacionado con una mayor disponibilidad de nutrientes (Muñiz *et al.* 2012, Piotrowska y Wilczewski 2012, Zotarelli *et al.* 2012, Yang *et al.* 2014).

La aplicación de abonos verdes al suelo, también contribuye a mejorar la eficiencia en el uso del agua (Bilalis *et al.* 2009), aumenta el contenido de clorofilas (a y b) y carotenoides en las hojas de las plantas (Tejada *et al.* 2008, Sanclemente 2013), estimula el crecimiento de raíces y aumenta su peso seco (Bilalis *et al.* 2009) y en general mejora los parámetros de crecimiento de las plantas (Naz *et al.* 2015); del mismo modo, incrementa los contenidos foliares de nitrógeno, potasio, fósforo, carbohidratos solubles y proteínas en granos (Tejada *et al.* 2008). Además, la aplicación de abonos verdes mejora la fertilidad del suelo (Adekiya *et al.* 2017) y aumenta la eficiencia de la fertilización aplicada (Singh *et al.* 2010, Yao *et al.* 2017), por lo que se disminuye el requerimiento de fertilizantes (Muñiz *et al.* 2012).

Por tanto, el objetivo de esta investigación es determinar el efecto de la aplicación de abonos verdes en el crecimiento y el rendimiento del *Phaseolus vulgaris*, como también determinar la influencia de los nutrientes contenidos en el abono verde en el comportamiento agronómico del frijol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó durante mayo y agosto del 2016 en la casa de malla de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, ubicada en Colombia, departamento del Valle del Cauca, municipio de Palmira a 3°30'45,6" latitud norte y 76°18'29,9" longitud oeste, a una altura de 1006 msnm, temperatura promedio de 24°C, humedad relativa del 78%, precipitación media anual de 1100 mm y una evaporación de 1640,4 mm por año.

Material vegetal utilizado

Como material vegetal se emplearon semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) de la variedad calima diacol y maní forrajero (*Arachis pintoi*) como abono verde. Las plantas de *Arachis pintoi* utilizadas en este experimento se cosecharon en los terrenos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

Diseño experimental

Para el establecimiento de los tratamientos se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con 6 tratamientos y 4 repeticiones.

Descripción de los tratamientos

Los tratamientos consistieron en abono verde fresco incorporado al suelo (T1) y sobre la superficie (T2), abono verde seco incorporado al suelo (T3) y sobre la superficie (T4) y cenizas del abono verde incorporadas al suelo (T5) y sobre la superficie (T6); al testigo no se le aplicó abono verde (Cuadro 1). En los tratamientos donde el abono verde se incorporó, se procedió a vaciar el suelo contenido en la maceta y mezclarlo completamente con el abono verde, para luego llenar nuevamente la maceta con esta mezcla, a excepción del T5 en donde las cenizas solo se incorporaron los primeros 10 centímetros. Para el caso de los demás tratamientos, el abono verde se colocó sobre la superficie, es decir, en la parte superior de la maceta, la cual previamente se había llenado con suelo.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.

| Tratamientos | Descripción |
|--------------|---|
| Testigo | Solo suelo |
| T1 | Suelo + 130 gramos de <i>Arachis pintoi</i> (fresco) incorporado |
| T2 | Suelo + 130 gramos de <i>Arachis pintoi</i> (fresco) sobre la superficie |
| T3 | Suelo + 40 gramos de <i>Arachis pintoi</i> (secado en estufa a 70°C durante 72 horas) incorporado al suelo |
| T4 | Suelo + 40 gramos de <i>Arachis pintoi</i> (secado en estufa a 70°C durante 72 horas) sobre la superficie |
| T5 | Suelo + 5 gramos de cenizas de <i>Arachis pintoi</i> incorporado al suelo (la incorporación se hará entre los primeros 5 – 10 cm) |
| T6 | Suelo + 5 gramos de cenizas de <i>Arachis pintoi</i> esparcidas sobre la superficie |

Unidades experimentales y unidades de muestreo

Como unidades experimentales se utilizaron macetas de plástico con capacidad de 2 kg, las cuales se llenaron con suelo (Pachic Haplustoll) extraído del lote de cultivo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, el cual fue tamizado (5 mm). Las unidades de medición fueron plantas de frijol común.

VARIABLES DE RESPUESTA

Al término del ensayo, se realizó una cosecha destructiva, donde se midieron las variables asociadas a acumulación de materia seca como peso seco de raíz, peso de tallo, peso seco de hojas, peso seco de vainas con granos, peso seco de nódulos y biomasa total; y variables asociadas a rendimiento como número de vainas por planta, número de granos por planta, peso seco de granos y rendimiento en seco.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

A los resultados se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de

comparación de medias de duncan ($p \leq 0,05$), con la ayuda del paquete estadístico SAS (2016).

CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

La cantidad de *Arachis pintoi* aplicado en fresco, en seco y en ceniza a cada uno de los respectivos tratamientos, se calculó teniendo en cuenta la cantidad de abono verde que normalmente se incorpora al suelo en condiciones de campo, para lo cual se tuvo en cuenta la producción de biomasa del maní forrajero por metro cuadrado y la densidad de siembra del cultivo (20 plantas por metro cuadrado), es decir, se realizó un estimativo de cuánto abono verde se incorpora en un metro cuadrado y qué cantidad le correspondería a cada planta.

Al considerar lo anterior, se procedió a delimitar un área de 625 cm² y se cosecharon las plantas completas de *Arachis pintoi* producidas en esa área, se tomaron 8 muestras al azar, dichas muestras se llevaron al laboratorio, en dónde se determinó la cantidad de biomasa fresca producidas en esta área, mediante su pesaje en una balanza analítica, luego las muestras se colocaron a secar en un horno a 70°C durante

72 horas, después se pesaron en una balanza analítica para determinar su peso seco; posteriormente, las muestras se trituraron en un molino y se tomaron 10 gramos de esta materia seca y se llevaron a la mufla en dónde fueron calcinados a 600°C durante 5 minutos. Después de 6 horas, las muestras se sacaron de la mufla y se dejaron por 30 minutos en desecador, para luego ser pesadas. Con los resultados obtenidos del procedimiento anterior se determinó la cantidad de biomasa fresca, seca y en cenizas producidas por un metro cuadrado de suelo cultivado con *Arachis pintoi* y, al tener en cuenta este dato, se procedió a determinar cuánto le correspondía a cada planta y se procedió a aplicar esta cantidad.

La cantidad de abono verde fresco, seco y en cenizas que se aplicó en cada tratamiento se calculó con las siguientes fórmulas:

Porcentaje de humedad = (peso fresco - peso seco) / peso fresco

$625 \text{ cm}^2 = 0,0625 \text{ m}^2$

Producción de biomasa fresca por m^2 = peso fresco * $1\text{m}^2 / 0,0625 \text{ m}^2$

Cantidad de biomasa fresca aplicar = producción de biomasa por $\text{m}^2 / 20$

Producción de biomasa seca por m^2 = peso seco * $1\text{m}^2 / 0,0625 \text{ m}^2$

Cantidad de biomasa seca aplicar = producción de biomasa seca por $\text{m}^2 / 20$

Producción de cenizas m^2 = (peso seco * peso de las cenizas) / 10 gramos

Cantidad de cenizas aplicar = producción de cenizas por $\text{m}^2 / 20$

%Cenizas = (peso seco - peso de la ceniza) / peso seco

Después de establecidos los respectivos tratamientos, se procedió a sembrar 2 semillas de frijol común por maceta para garantizar la germinación de por lo menos una, a una profundidad de 2 cm.

Durante el ensayo se presentaron ataques de mosca blanca, la cual se controló al aplicar bioniconema (*Paecilomyces lilacinus* 1% w.p) 50 cm^3 /litro al follaje; hongos, que se controlaron con micoderma (*Trichoderma viride* 1% W/W

WP) al aplicar 50 cm^3 /litro al suelo y ácaros, los cuales fueron controlados al suministrar al follaje 5 ml/litro de Biogrin (acaricida).

Durante el ensayo la humedad del suelo, se mantuvo a capacidad de campo para lo cual se programaron riegos diarios. Se empezó con una aplicación aproximada de 70 mililitros (dato ya calculado en ensayos previos) durante las primeras etapas fenológicas del cultivo y se terminó con 125 mililitros diarios después de prefloración.

Para la obtención de la raíz se procedió a vaciar el suelo de la maceta en un recipiente, el cual se llenó con agua, para lograr de esta forma aflojar el suelo y obtener la raíz con mayor facilidad, sin dañarla demasiado, a continuación se lavaron y se limpiaron.

Después de haber cosechado cada una de las estructuras de la planta por separado (raíz, tallo, hojas, nódulos y vainas con granos), fueron introducidas en una bolsa de papel previamente etiquetada y transportadas a un horno de secado, donde se mantuvieron durante 72 horas a 70°C. Luego del secado se dejaron en un desecador durante 24 horas y, posteriormente, se determinó el peso seco en gramos de la raíz, tallo, hojas, nódulos, vainas y granos; en todos los procesos de pesado se utilizó una balanza analítica.

Para estimar el rendimiento en seco se empleó la siguiente fórmula:

Rendimiento en seco (14% de humedad) = peso fresco * (100 - %Humedad) / 86, siendo 86 el factor de corrección de humedad.

RESULTADOS

Efecto de la aplicación del abono verde en el crecimiento del frijol común

Los resultados muestran que hay diferencias significativas en las variables evaluadas (Cuadro 2) por efecto de los tratamientos, pero no por efecto de bloques. Las diferencias entre tratamientos se dan para la mayor parte de las variables de respuesta evaluadas, excepto para peso seco de raíz (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza para variables asociadas a crecimiento.

| Factor de variación | Peso seco (gramos) | | | | | |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|-----------------|---------|---------|
| | Raíz | Tallo | Hojas | Vainas + granos | Nódulos | Biomasa |
| Tratamiento | NS | * | * | ** | *** | *** |
| Bloque | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| Media | 3,399 | 3,849 | 4,450 | 5,248 | 0,344 | 17,522 |
| Coefficiente de variación | 37,091 | 23,306 | 21,207 | 26,000 | 23,255 | 12,874 |

* Diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

** Diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$).

NS: No existen diferencias significativas.

Peso seco raíz

En relación con el peso seco de la raíz, y como se observa en el Cuadro 3 y en la Figura 1, generada a partir de la prueba de comparación de

medias de Duncan el mayor valor lo presentó el T2 seguido del T4, y el menor valor lo presentó el T6 y el testigo. El incremento en materia seca de la raíz del T2 fue de un 99,43% y 115,32% con respecto al testigo y T6.

Cuadro 3. Resultados de la prueba de duncan para variables asociadas a crecimiento.

| Tratamiento | Peso seco (gramos) | | | | | |
|-------------|--------------------|----------|---------|-----------------|---------|---------|
| | Raíz | Tallo | Hojas | Vainas + granos | Nódulos | Biomasa |
| Testigo | 2,439b | 3,583abc | 3,811b | 3,798c | 0,143b | 14,158c |
| T1 | 3,545ab | 4,791ab | 5,448a | 5,552bc | 0,166b | 19,871b |
| T2 | 4,864a | 4,970a | 5,494a | 8,092a | 0,865a | 24,387a |
| T3 | 3,360ab | 3,492abc | 4,435ab | 3,593c | 0,121b | 15,471c |
| T4 | 4,235ab | 3,899abc | 4,621ab | 6,492ab | 0,765a | 20,083b |
| T5 | 2,853ab | 2,866c | 3,359b | 3,903c | 0,118b | 13,209c |
| T6 | 2,259b | 3,278bc | 3,822b | 4,947bc | 0,182b | 14,633c |

Medias con letras iguales no difieren significativamente.

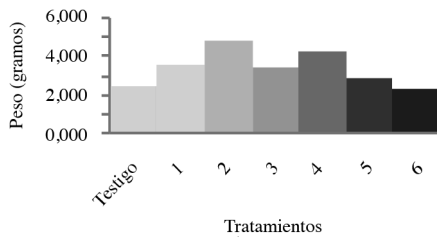


Fig. 1. Peso seco de raíz.

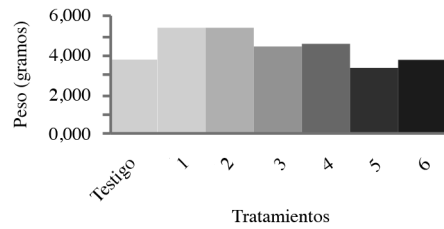


Fig. 3. Peso seco de hojas.

Peso seco tallo

En lo referente al peso seco del tallo, el T2 presentó el mayor valor seguido del T1 y los menores valores los presentaron el T5 y T6 (Cuadro 3, Figura 2). La diferencia porcentual del T2 con respecto al testigo, T5 y T6 fue del 38,71%; 73,41% y 51,62%.

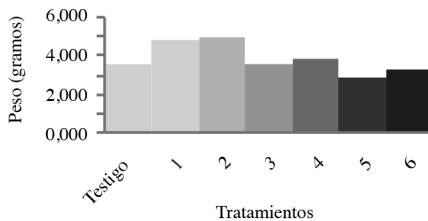


Fig. 2. Peso seco de tallo.

Peso seco vainas con granos

Para esta variable el T2 presentó el mayor valor seguido del T4 y el menor valor lo presentó el T3 seguido del testigo (Cuadro 3, Figura 4). El T2 presentó un 113,06%; 125,22%; 107,33% y más de materia seca con respecto al testigo T3 y T5.

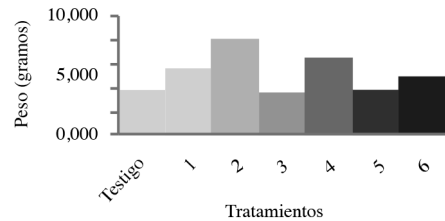


Fig. 4. Peso seco de vainas con granos.

Peso seco hojas

Con respecto al peso seco de las hojas el T2 presentó el mayor valor seguido del T1 y los menores valores los presentaron el T5 y el T6 (Cuadro 3, Figura 3). El incremento en materia seca del T2 fue de un 44,16%; 63,56% y 43,75% con respecto al testigo, T5 y T6.

Peso seco nódulos

En relación con el peso seco de nódulos, el T2 presentó el mayor valor seguido del T4 y el menor valor lo presentó el T3 seguido del testigo (Cuadro 3, Figura 5). El T2 superó en 504,90% al testigo, y en 421,08%; 614,88%; 633,05% y 375,27% a T1, T3, T5 y T6 respectivamente.

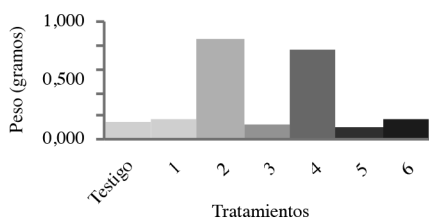


Fig. 5. Peso seco de nódulos.

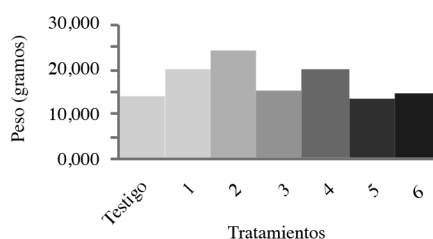


Fig. 6. Peso seco de la biomasa.

Peso seco biomasa total

Con respecto a la biomasa la mayor acumulación de materia seca, la presentó el T2 seguido del T4 y la menor acumulación la presentó el T5 seguido del testigo (Cuadro 3, Figura 6). El T2 superó en 72,25% al testigo, 22,73% a T1, 57,63% a T3, 21,43% a T4, 84,62% a T5 y en 66,66% a T6.

Efecto de la aplicación del abono verde en el rendimiento del frijol común

Para las variables asociadas a rendimiento, el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas para el peso seco de granos y rendimiento en seco, pero no para vainas por planta y granos por planta. Del mismo modo, el análisis de varianza no detectó diferencias por efecto de bloques (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza para variables asociadas a rendimiento.

| Factor de variación | Vainas por planta | Granos por planta | Peso seco granos | Rendimiento en seco |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Número | | gramos.planta ⁻¹ | |
| Tratamiento | NS | NS | ** | ** |
| Bloque | NS | NS | NS | NS |
| Media | 5,148 | 11,222 | 3,601 | 4,187 |
| Coefficiente de variación | 22,193 | 37,943 | 23,436 | 23,440 |

* Diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

** Diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$).

NS: No existen diferencias significativas.

Número de vainas por planta

De acuerdo con el Cuadro 5 y la Figura 7, generados a partir de la prueba de comparación

de medias de Duncan, el T2 presentó el mayor número de vainas por planta, seguido del T1, y el menor número de vainas por planta lo presentaron el T3 y el T5.

Cuadro 5. Resultados de la prueba de duncan para variables asociadas a rendimiento.

| Tratamiento | Vainas por planta | Granos por planta | Peso seco granos | Rendimiento en seco |
|-------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Número | | gramos.planta ⁻¹ | |
| Testigo | 5,000ab | 9,333b | 2,851b | 3,315b |
| T1 | 5,750ab | 10,500b | 3,882ab | 4,514ab |
| T2 | 6,750a | 18,000a | 5,202a | 6,048a |
| T3 | 4,250b | 9,250b | 2,603b | 3,027b |
| T4 | 5,500ab | 13,500ab | 4,627a | 5,381a |
| T5 | 4,250b | 9,250b | 2,792b | 3,246b |
| T6 | 4,500b | 8,250b | 3,060b | 3,558b |

Medias con letras iguales no difieren significativamente.

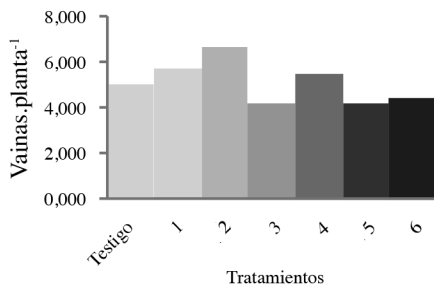


Fig. 7. Número de vainas por planta.

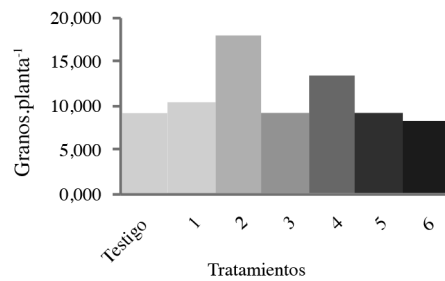


Fig. 8. Número de granos por planta.

Número de granos por planta

Para el número de granos por planta el T2 presentó el mayor número de granos por planta, seguido del T4 y el menor número de granos por planta lo presentó el T6 seguido del T5 y el T3 (Cuadro 5, Figura 8). El T2 superó al testigo en 92,86% y a T1, T3, T5 y T6 en 71,43%; 94,59%; 94,25% y 54,17% respectivamente.

Peso seco granos

En relación con el peso seco de granos el T2 presentó la mayor acumulación de materia seca, seguido del T4 y la menor acumulación de materia seca lo presentó el T3, seguido del T5 (Cuadro 5, Figura 9). Los incrementos de T2 en peso seco de los granos fueron de un

82,72%; 99,85% y 86,32% comparado con el testigo, T3 y T5.

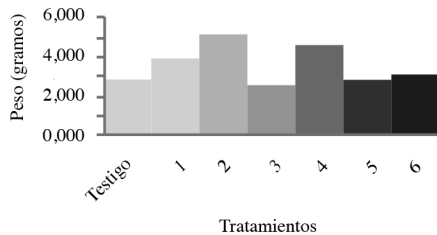


Fig. 9. Peso seco de granos.

Rendimiento en seco

En lo referente al rendimiento en seco el T2 presentó el mayor valor seguido por el T4 y el menor valor lo presentó el T3 seguido del T5 (Cuadro 5, Figura 10). El T2 superó significativamente al testigo en un 82,44%, a T3 en un 99,80% y a T5 en un 86,32%.

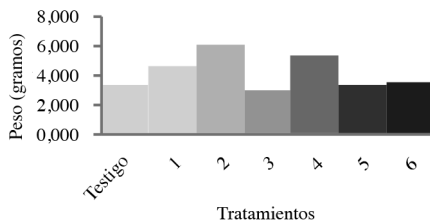


Fig. 10. Rendimiento en seco (gramos.planta⁻¹).

DISCUSIÓN

El comportamiento agronómico de las plantas de frijol común, presentó diferencias significativas de interés entre tratamientos para las variables asociadas a crecimiento y rendimiento. Estos resultados muestran que la aplicación de *Arachis pintoi* como abono verde contribuye a mejorar el desempeño agronómico y fisiológico del *Phaseolus vulgaris*.

De acuerdo con los resultados, el T2 fue el tratamiento con mejor desempeño agronómico, ya que superó significativamente a todos los demás tratamientos y al testigo, pues presentó la mayor acumulación de materia seca en raíces, nódulos, tallos, hojas, granos y vainas, así como un mayor número de vainas y granos por planta y el más alto rendimiento en seco. Similares resultados en cuanto a la mejora del rendimiento y de los parámetros de crecimiento de las plantas de interés económico, cuando se aplica abono verde al suelo, fueron reportados por Muñiz *et al.* (2012) y Yao *et al.* (2017) en arroz, Bilalis *et al.* (2009) en tabaco, Sañudo *et al.* (2001) en arveja, Subaedah *et al.* (2016) en maíz y Adekiya *et al.* (2017) en okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench).

Los resultados obtenidos en el T2 son superiores a los promedios reportados por Ligarrero (2013) para 29 accesiones de frijol común, en peso seco de raíz, peso seco de tallo, peso seco de hojas y biomasa total, pero inferiores para peso seco de granos, sin la utilización abono verde, en condiciones de campo y fertilización normal. Del mismo modo, son superiores a los valores reportados por Reyes *et al.* (2014) para 3 tratamientos con agua (100% de agua, es decir, a capacidad de campo, 75% de agua y 50% de agua) en condiciones de invernadero, en cuanto a peso seco de raíz, peso seco de tallo, peso seco de hojas y peso seco de vainas con granos.

En lo referente al rendimiento, el resultado obtenido para T2 es inferior al promedio nacional (6,5 g.planta⁻¹, dato estimado de información de producción de frijol común en Colombia, reporta en el 2016 por FENALCE), lo cual posiblemente se puede deber a que durante el ensayo se presentaron temperaturas ambientales muy altas dentro de la casa de malla (> 30°C) y en el suelo (entre 32 y 37°C para el caso de T2), lo que probablemente ocasionó que las plantas gastaran gran parte de sus fotoasimilados, fabricados durante la fotosíntesis, en sostener sus estructuras y poder sobrevivir, por tanto, la oferta de fotoasimilados para el proceso reproductivo y productivo fue menor que la demanda, lo cual se evidenció en

el aborto de flores, caídas de vainas durante la formación y vainas vanas en la cosecha en este tratamiento.

El incremento en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos por la aplicación de abonos verdes ha sido relacionado con una mayor disponibilidad de nutrientes aportados por el abono verde en descomposición (Muñiz *et al.* 2012, Piotrowska y Wilczewski 2012, Zotarelli *et al.* 2012, Yang *et al.* 2014, Naz *et al.* 2015, Adekiya *et al.* 2017).

En contraste con lo anterior, los resultados obtenidos en esta investigación mostraron que las plantas de frijol común de los tratamientos con cenizas de abono verde (T5 y T6) fueron los que presentaron el menor crecimiento y rendimiento, al ser incluso superadas en algunas evaluaciones por el testigo, principalmente T5 en las variables como peso seco de tallo, peso seco de hojas, peso seco de granos y biomasa total, como también en las variables asociadas a rendimiento. Estos resultados indican claramente que a corto plazo, cuando se aplica abono verde, el efecto sobre el crecimiento de las plantas no es debido a los nutrientes contenidos en el abono verde aplicado.

Uno de los nutrientes que más se aporta al suelo cuando se aplica abono verde de leguminosas es el nitrógeno (Sanclemente 2009 y Dabin *et al.* 2016) y como el abono verde de los tratamientos T5 Y T6 fue calcinado a 600°C durante 5 minutos, posiblemente todo el nitrógeno contenido en él se volatilizó, por lo que podría pensar que el nitrógeno contenido en el abono verde en fresco aplicado en el T2 fue el que ocasionó un mejor comportamiento agronómico de este con respecto a los demás tratamientos, sin embargo, por ser el frijol común una leguminosa, la influencia de este elemento contenido en el abono verde fresco no es significativa.

Si los nutrientes aportados por el abono verde no desempeñaron un papel importante en el crecimiento y en la productividad de la planta, el incremento en la biomasa y en el rendimiento se debe a otros factores, posiblemente a una mayor disponibilidad de agua (Sánchez de Prager 2007), aunque en este experimento todos

los tratamientos se mantuvieron a capacidad de campo, por lo que quedan 2 factores que pueden explicar el efecto de la aplicación de abonos verdes en el desempeño agronómico del frijol común, como pueden ser la temperatura del suelo y la actividad microbiana (respiración del suelo).

Con respecto a la temperatura, en primer lugar es importante resaltar que el experimento se desarrolló en una casa de malla, cuya temperatura ambiental en su interior es superior a la temperatura exterior, por tanto, la temperatura del suelo también tiende a incrementarse.

Un incremento de la temperatura de suelo puede ser más significativo en suelos sin coberturas, como es el caso del testigo T5 y T6, quienes alcanzaron temperaturas cercanas a los 39°C durante algunas épocas del experimento. Por lo que se podría pensar que las altas temperaturas del suelo pudieron limitar el crecimiento de las raíces (Torrente y Valenzuela 2010) y, por consiguiente, afectar el proceso de absorción de nutrientes, situación que pudo haber provocado un menor crecimiento y rendimiento del frijol común en estos tratamientos.

Contrario a lo anterior, la aplicación de abonos verdes en fresco y sobre la superficie del suelo contribuye a regular la temperatura del suelo (Zwart *et al.* 2005), situación que favorece, si las demás condiciones son óptimas, un adecuado crecimiento de las raíces y, por tanto, un mayor volumen de suelo explorado, lo que mejora la absorción de nutrientes por la planta, lo cual ocasiona un mejor desempeño agronómico de los cultivares, como posiblemente ocurrió en T2.

Por otro lado, los abonos verdes contribuyen a estimular la actividad microbiana (Elfs-trand *et al.* 2007, Tejada *et al.* 2008, Piotrowska y Wilczewski 2012), ya que son fuente de carbohidratos, proteínas y lípidos para el metabolismo microbiano, lo que les permite obtener su energía y fabricar los componentes necesarios para su crecimiento. Durante este proceso los microorganismos liberan nutrientes al suelo y producen dióxido de carbono (CO₂) (Sánchez de Prager 2007), gas, que posiblemente es aprovechado por las plantas en la fabricación de sus fotoasimilados

necesarios para su crecimiento y mantenimiento de sus órganos, lo que se ve reflejado en una mayor acumulación de materia seca y en un mayor rendimiento del cultivo.

En concordancia con lo anterior, el incremento en el crecimiento y el rendimiento en T2 se podría explicar por la estimulación de la microbiología del suelo cuando el abono verde se aplica en fresco, ya que se convierte en alimento para los microorganismos del suelo, los cuales en el proceso de descomposición de este material orgánico producen CO₂, es decir, la aplicación de abono verde incrementa la respiración del suelo (Hwang *et al.* 2017), lo que probablemente ocasiona que el CO₂ aumente su concentración dentro del suelo, para posteriormente difundirse a la superficie y luego hasta la capa límite de las hojas, por lo que se incorpora por los estomas hasta llegar al cloroplasto, en dónde podría saturar el sitio activo de la enzima rubisco, lo cual garantiza que esta trabaje como carboxilaza al realizar fotosíntesis y suprimir la fotorrespiración, lo cual produce un aumento de la biomasa de la planta y un mejor rendimiento del cultivo (Riaño 2013).

Una mayor tasa fotosintética repercute en una mayor oferta de fotoasimilados, muchos de los cuales pueden ser transportados hacia las raíces, lo cual mejora su crecimiento, pero, además, pueden ser utilizados por las bacterias nitrificantes asociadas a las raíces del frijol común, lo que podría ocasionar un incremento en la nodulación y, por tanto, una mayor oferta de nitrógeno para la planta, lo que por ende también contribuiría a generar un aumento en la biomasa y en el rendimiento, como efectivamente ocurrió en el T2 y T4.

En resumen, el T2 fue el que presentó un mayor desempeño en crecimiento (Cuadro 3), como también en rendimiento (Cuadro 5), por lo que se puede afirmar que la mejor forma de aplicación del abono verde es en fresco y sobre la superficie del suelo, lo cual, no solo regula la temperatura del suelo, sino que también estimula la actividad microbiológica del suelo

con la consecuente producción de CO₂, gas de vital importancia para el proceso fotosintético de las plantas.

De acuerdo con lo anterior, se hace necesario cambiar el paradigma de fertilización de suelo y nutrición de plantas por el de “alimentar los organismos del suelo”, quienes en última instancia son los que se encargan de proveer gran parte de los compuestos (nutrientes, agua y CO₂) necesarios para el crecimiento y mantenimiento de las plantas, lo cual mejora su desempeño fisiológico y agronómico, esto se ve reflejado en una mayor productividad de los agroecosistemas y mejor rendimiento de los cultivos. Por tanto, el empleo de abono verde de *Arachis pintoi* es una alternativa viable para aumentar el crecimiento y el rendimiento del frijol común, esto disminuye el uso de fertilizantes sintéticos y, por consiguiente, hace más rentable esta actividad agrícola, además de prevenir problemas de contaminación ambiental.

CONCLUSIONES

La aplicación de abono verde contribuye a mejorar el desempeño en crecimiento y rendimiento del *Phaseolus vulgaris*.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los nutrientes aportados por el abono verde posiblemente no juegan un papel trascendental en el crecimiento del *Phaseolus vulgaris*.

En concordancia con los resultados obtenidos, la mejor forma de aplicación del abono verde es dejarlo sobre la superficie del suelo y aplicarlo en fresco.

Los abonos verdes estimulan la actividad del suelo, proceso durante el cual el material orgánico se descompone, al liberar agua y nutrientes al suelo, pero, además, produce CO₂, gas que posiblemente es tomado por planta para la fabricación de sus fotoasimilados; es probable que el CO₂ producido por la actividad microbiana sea el responsable del incremento de la biomasa y de un mayor rendimiento de *Phaseolus vulgaris*.

LITERATURA CITADA

- Adekiya, AO; Agbede, TM; Aboyeji, CM; Dunsin, O; Ugbe, JO. 2017. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences xxx: 1-6.
- Arias Restrepo, JH; Jaramillo Carmona, M; Rengifo Martínez, T. 2007. Manual técnico: buenas prácticas agrícolas, en la producción de frijol voluble. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), MANA (Mejoramiento Alimentario y Nutricional de Antioquia), Gobernación de Antioquia. Medellín, Colombia. CTP Print Ltda. 168 p.
- Bilalis, D; Karkanis, A; Efthimiadou, A; Konstantas Ar; Triantafyllidis, V. 2009. Effects of irrigation system and green manure on yield and nicotine content of Virginia (flue-cured) organic tobacco (*Nicotiana tabacum*), under Mediterranean conditions. Industrial Crops and Products 29:388-394.
- Dabin, Z; Pengwei, Y; Na, Z; Changwei, Y; Weidong, C; Yajun, Gao. 2016. Contribution of green manure legumes to nitrogen dynamics intraditional winter wheat cropping system in the Loess Plateau of China. European Journal of Agronomy 72:47-55.
- Domínguez Suárez, A; Mita Poma, NM; Alemán García, S; Pérez Hernández, Y; Darias Rodríguez, R; Sosa del Castillo, M; Fuentes Alfonso, L. 2012. Algunos indicadores morfológicos y bioquímicos de cinco variedades de *Phaseolus vulgaris* L. bajo condiciones de sequía. Revista Avanzada Científica 15:1-18.
- Elfstrand, S; Bath, B; Martensson, A. 2007. Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. Applied Soil Ecology 36:70-82.
- FENALCE (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas, Colombia). 2016. Departamento económico y apoyo a la comercialización. Indicadores Cerealistas (en línea). Colombia. Consultado 08 oct. 2017. Disponible en <http://www.fenalce.org/archivos/indcer2016b.pdf>
- Hwang, HY; Kim, GW; Kim, SY; Haque, MM; Khan, MI; Kim, PJ. 2017. Effect of cover cropping on the net global warming potential of rice paddy soil. Geoderma 292:49-58.
- Ligarreto, MGA. 2013. Componentes de variancia en variables de crecimiento y fotosíntesis en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica 16(1):87-96.
- Muñiz Ugarte, O; Cabello Martínez, R; Socorro Quesada, M; Nuviola Montoya A; Dueñas Vega, G. 2012. La *Sesbania rostrata* como fuente alternativa de nutrientes en el cultivo del arroz. Spanish Journal of Soil Science 2:57-62.
- Naz, I; Saifullah; Palomares-Rius, JE; Khan, SM; Ali, S; Ahmad, M; Ali, A; Khan, A. 2015. Control of Southern root knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood on tomato using green manure of *Fumaria parviflora* Lam (Fumariaceae). Crop Protection 67:121-129.
- Piotrowska, A; Wilczewski, E. 2012. Effects of catch crops cultivated for green manure and mineral nitrogen fertilization on soil enzyme activities and chemical properties. Geoderma 189-190:72-80.
- Reyes-Matamoros, J; Martínez-Moreno, D; Rueda-Luna, R; Rodríguez-Ramírez, T. 2014. Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. Revista Iberoamericana de Ciencias 1(2):191-203.
- Riaño Herrera, NM. 2013. Apuntes de clase del curso ecofisiología de la fotosíntesis. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. s. p.
- Sánchez de Prager, M. 2007. Las endomicorrizas: Expresión bioedáfica de importancia en el trópico. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 352 p.
- Sancllemente Reyes, OE. 2009. Efecto del cultivo de cobertura: *Mucuna pruriens* en las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo Typic Haplustalfs, cultivado con maíz (*Zea mays* L.) en la zona de ladera del Municipio de Palmira Valle. Tesis M.Sc. Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 80 p.
- Sancllemente Reyes, OE. 2013. Efecto de *Mucuna pruriens* asociada a una gramínea, sobre la actividad simbiótica rizosférica y la movilización de N y P, en un sistema de cultivo: maíz (*Zea mays* L.) y soya (*Glycine max* L.). Tesis Ph.D. Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 107 p.
- Sañudo Sotelo, B; Chaves Jurado, G; Vallejo Calderón, W. 2001. Empleo de la avena forrajera como abono verde para disminuir la incidencia del amarillamiento de la arveja (*Fusarium oxysporum* f. sp. pisi). Revista de Ciencias Agrícolas 18(2):73-89.
- Singh, M; Singh, A; Singh, S; Tripathi, RS; Singh, AK; Patra, DD. 2010. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. Industrial Crops and Products 31:289-293.
- Subaedah, S; Aladin, A; Nirwana. 2016. Fertilization of Nitrogen, Phosphor and Application of Green Manure of *Crotalaria juncea* In Increasing Yield

- of Maize In Marginal Dry Land. Agriculture and Agricultural Science Procedia 9:20-25.
- Tejada, M; Gonzalez, JL; García-Martínez, AM; Parrado, J. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource Technology 99:1758-1767.
- Torrente Trujillo, A; Valenzuela Balcázar, IG. 2010. Física de suelos. In Burbano OH; Silva MF (eds.). Ciencia del suelo, principios básicos. Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 141-211.
- Yang, ZP; Zheng, SX; Nie, J; Liao, YL; Xie, J. 2014. Effects of long-term winter planted green manure on distribution and storage of organic carbon and nitrogen in water-stable aggregates of reddish paddy soil under a double-rice cropping system. Journal of Integrative Agriculture 13:1772-1781.
- Yao, Y; Zhang, M; Tian, Y; Zhao, M; Zhang, B; Zhao, M; Zeng, K; Yin, B. 2017. Duckweed (*Spirodela polyrhiza*) as green manure for increasing yield and reducing nitrogen loss in rice production. Field Crops Research 214:273-282.
- Zotarelli, L; Zatorre, NP; Boddey, RM; Urquiaga, S; Jantalia, CP; Franchini, JC; Alves, BJR. 2012. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. Field Crops Research 132:185-195.
- Zwart, MA; Rojo, JM; de la Cruz, R; Yeomans, J. 2005. Coberturas y la salud del suelo. Revista Tierra Tropical 1:9-20.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr