

Efectos del BIOSTAN® en los índices de crecimiento y los pigmentos fotosintéticos de *Phaseolus vulgaris* L.

Biostan® effects on rates of growth and photosynthetic pigments of *Phaseolus vulgaris* L.

Antonio Torres García¹; Eduardo Fidel Héctor Ardisana¹; Guillermo Hernández del Valle²; Jorge L. Cué García¹; y Osvaldo Alberto Fosado Téllez¹

¹ Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

² Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Agraria de La Habana, Cuba

* Autor para correspondencia: ktvratgmtg@gmail.com

Resumen

El trabajo tuvo por objetivo evaluar el efecto del BIOSTAN® sobre los pigmentos fotosintéticos y los índices de crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de grano negro, genotipo Criollo. La investigación se efectuó entre enero y abril en época de secano, en La Habana (Cuba), en un suelo ferralítico rojo lixiviado, sin aplicar riego ni empleo de fertilización. Fueron establecidas parcelas de una hectárea, a una de las cuales se le aplicó el bioestimulante con dosis de 6 g.ha⁻¹ en el momento en que las plantas se encontraban entre el tercer y el quinto par de hojas verdaderas. Las clorofilas (a, b, a+b) y los carotenoides se determinaron por espectrofotometría, mientras que las tasas absoluta y relativa de crecimiento foliar, la tasa de asimilación neta, la duración del área foliar y el índice de área foliar, se cuantificaron a partir de las variables área foliar, masa seca a intervalos de tiempo. La tasa absoluta de crecimiento, la tasa de asimilación neta y la clorofila "a" en las plantas tratadas con BIOSTAN®, mostraron valores significativamente superiores para ($p \leq 0,05$) con incrementos de 14,36% al 35,4%; 15,38% al 33,33% y 8,84% y 9,06%, respectivamente.

Palabras clave: frijol, bioestimulante, clorofilas, tasas de crecimiento

Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of BIOSTAN® on photosynthetic pigments and growth rates of black bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Criollo genotype. The research was carried out during the months of January to April in the dry season, in Havana, in a Ferralitic Red Leached soil, without irrigation or fertilization. Plots of one hectare were established, to one of which was applied the biostimulant with doses of 6 g.ha⁻¹ at the time the plants were between the third and the fifth pair of true leaves. Chlorophylls (a, b, a + b) and carotenoids were determined by spectrophotometry, while absolute and relative rates of leaf growth, net assimilation rate, leaf area duration, and leaf area index were quantified from the variables leaf area and dry mass at time intervals. The absolute growth rate, net assimilation rate and chlorophyll "a" in plants treated with BIOSTAN showed significantly higher values for ($P \leq 0.05$) with increases from 14.36% to 35.4%; 15.38% to 33.33% and 8.84% and 9.06% with respect to the control, at 14 and 21 days after application of the biostimulant.

Key words: beans, bio-stimulant, chlorophyll, growth rates



Recibido: 20 de junio, 2016
Aceptado: 1 de junio, 2017

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) ocupa un lugar preponderante en el consumo para amplios sectores de la población en algunos países en desarrollo. En dependencia del tipo de frijol, según Ulloa *et al.* (2011), el contenido de proteínas varía del 14 al 33%, rico en aminoácidos como la lisina, la fenilalanina y tirosina, que le confieren un lugar relevante en la alimentación humana.

A escala global anualmente se cosechan alrededor de 29,5 millones de hectáreas de frijol de diferentes variedades, de las cuales se obtienen 23 millones de toneladas. En 2013, el rendimiento promedio mundial de frijol se ubicó en 0,79 toneladas por hectárea (FIRA, 2015)¹.

La producción mundial de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se desarrolla en condiciones de déficit hídrico en el 60% de las áreas dedicadas a su cultivo (Castañeda *et al.*, 2006), con consecuencias en la productividad. En América Latina se ha estimado que el estrés hídrico reduce en 73% del rendimiento del frijol (Boicet *et al.*, 2011). Según Cabrera *et al.* (2009), en Cuba se obtienen bajos rendimientos y poca estabilidad en la producción de frijol, fundamentalmente debido a la limitada disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo pues la mayoría de las áreas de producción depende de las precipitaciones para satisfacer las demandas hídricas de las plantaciones.

El análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores que influyen el desarrollo de la planta y el rendimiento. Su seguimiento, a través de la acumulación de materia seca y del área foliar, constituyen análisis clásicos que contemplan medidas de la masa seca y área foliar a determinados intervalos de tiempo, lo que permite una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas, bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Gardner *et al.*, 1985).

Los lixiviados de vermicompost aplicados vía foliar poseen acción directa sobre el desarrollo de la planta a causa de su influencia en procesos metabólicos y fisiológicos (Rakesh *et al.*, 2014; Arthur *et al.*, 2012; Domínguez *et al.*, 2010).

La cantidad de clorofilas es variable con la ontogénesis de la planta y de la hoja, así como la localización y nivel de inserción de estas, el estado fisiológico que caracteriza a la planta en un momento dado, los factores bióticos y abióticos del ambiente en que crecen, lo mismo que entre las especies y genotipos (Torres *et al.*, 1984). Incrementos en el contenido de clorofilas con la aplicación de vermicompost ha sido observado en diferentes especies de plantas por Mirakalaei *et al.* (2013), Vijaya y Seethalakshmi (2011), Azami *et al.* (2008) y Uma y Malathi (2009).

El BIOSTAN® es un bioestimulante sólido obtenido de extractos líquidos del vermicompost que ha demostrado ejercer positivos efectos en el desarrollo y el comportamiento agroproductivo de diversos cultivos, así lo confirman los resultados obtenidos por Torres *et al.* (2015), Rakesh *et al.* (2014), Terry *et al.* (2013), Hernández *et al.* (2012), Reyes *et al.* (2011) y Domínguez *et al.*, 2010.

En esta investigación se evalúa el efecto del BIOSTAN® sobre los pigmentos fotosintéticos y los índices de crecimiento de las plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de grano negro, genotipo Criollo, en suelos de baja fertilidad y sistema de secano.

Materiales y métodos

La experiencia de campo se desarrolló en época de seca, entre enero y abril, en las áreas agrícolas de la Universidad Agraria de La Habana, en San José de las Lajas, provincia La Habana, entre los 22,9° – 23° de latitud Norte y 82° - 82,1° de longitud Oeste, a una altura aproximada de 138 metros sobre el nivel del mar. El suelo utilizado para el desarrollo de los experimentos se clasifica como Ferralítico Rojo Lixiviado, de muy baja fertilidad y una

¹ FIRA. (2015). Panorama Agroalimentario. Frijol 2015. Recuperado de <http://www.gob.mx.panorama-agroalimentario>.

pendiente menor al 1%, no existiendo diferencia significativa entre las secciones en cada uno de los indicadores de fertilidad evaluados (Tabla 1).

Los datos climáticos en la época de realización del experimento (Tabla 2) mostraron que las temperaturas medias estuvieron en el rango exigido por el frijol y la humedad relativa, aunque ligeramente alta, es admitida por el cultivo. Las precipitaciones acumuladas en la etapa experimental fueron de 76,9 mm, valores que se alejan del requerimiento hídrico del frijol que se encuentra en el rango de 350 a 500 mm (MINAGRI, 2009), por lo que la humedad edáfica fue insuficiente para satisfacer los requerimientos al no aplicarse riego. Pese a esto, las plantas crecieron en condiciones de estrés hídrico y también nutricional, al no recibir fertilización.

En función de la fertilidad homogénea del suelo se utilizó un diseño completamente aleatorizado balanceado (parcelas de 4x5 metros), con cuatro repeticiones. La disposición de las parcelas (20 m²) se estableció en forma de bandera inglesa, hacia el centro de cada hectárea para ambos tratamientos.

Se efectuó la preparación de suelo según el Instructivo Técnico del MINAGRI (2009). La siembra se realizó el 4 de enero a una distancia de 0,70 x 0,05 m. El control de malezas se realizó mecánicamente del tractor JUMZ-6 a los 28 días de la siembra. No se efectuó fertilización mineral ni se aplicó riego a las áreas de cultivo. Los principales agentes nocivos bióticos no representaron afectaciones para considerarlos plagas, por lo que no fue necesario el empleo de plaguicidas.

Tabla 1. Características químicas del suelo del área experimental a la profundidad de 0-20 cm.

Secciones	M.O (%)	pH		Bases intercambiables (cmol.Kg ⁻¹)				CIC	Fertilidad (mg.100g ⁻¹)	
		H ₂ O	CLK	Ca	Mg	Na	K		P ₂ O ₅	K ₂ O
I	2,90	6,2	5,0	4,47	2,21	0,05	0,20	6,93	3,26	2,75
II	2,83	6,3	5,1	4,50	2,25	0,06	0,20	7,01	3,20	2,30
III	2,88	6,1	5,2	4,42	2,20	0,05	0,23	6,90	3,30	2,85
IV	2,95	6,3	5,1	4,47	2,20	0,03	0,22	6,92	3,22	2,70
V	2,85	6,5	5,1	4,52	2,26	0,05	0,21	7,04	3,25	2,75
VI	2,85	6,4	5,0	4,51	2,25	0,04	0,21	7,01	3,23	2,75
VII	2,87	6,4	5,0	4,48	2,22	0,07	0,24	7,01	3,28	2,81
VIII	2,89	6,2	5,0	4,48	2,21	0,06	0,22	6,97	3,25	2,83
ESx	0,01	0,05	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,06
CV (%)	1,26	2,23	1,6	1,71	1,07	1,77	1,65	1,76	1,02	2,39
Significación	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 2. Datos meteorológicos durante el experimento

Meses	Decenas	T. máx. °C	T. mín. °C	T. media °C	Precipitación. (mm)	H. R. (%)	Velocidad viento (m.s ⁻²)
Enero	1	27,41	17,97	22,41	28,8	82	5,50
	2	25,20	13,02	19,25	0,3	74	6,96
	3	25,07	12,65	18,80	30,5	79	6,65
Febrero	1	27,41	15,86	19,03	9,3	79	4,75
	2	28,72	15,02	21,66	0,0	80	6,40
	3	26,54	14,06	20,72	0,4	76	7,50
Marzo	1	27,96	14,06	20,78	5,2	75	4,64
	2	29,42	18,71	23,60	2,4	78	6,03
	3	29,47	16,42	22,73	0,0	75	8,27
Abril	1	30,15	17,78	23,77	0,0	76	7,68

Fuente: Estación Meteorológica de Tapaste, San José de las Lajas

El experimento estuvo conformado por dos hectáreas de terreno, donde una hectárea recibió aplicación foliar del BIOSTAN® en dosis de 6 g.ha⁻¹ diluido en un volumen de 150 L.ha⁻¹ de agua. Paralelamente otra hectárea fue considerada como testigo donde se aplicó un volumen equivalente de agua. La aplicación del bioestimulante se realizó entre las etapas fenológicas V3 (hoja 3) y V5 (hoja 5).

Se muestrearon cinco plantas al azar por parcela a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación (DDA) del BIOSTAN® para realizar los análisis de pigmentos fotosintéticos y los índices de crecimiento. Los pigmentos fotosintéticos se determinaron por el método descrito por

Torres *et al.*, (1984), extrayendo los pigmentos con acetona al 80% y determinando las densidades ópticas (D.O.) por espectrofotometría para el cálculo de las clorofilas (a, b, a+b) y carotenoides, expresando sus concentraciones en mg.dm⁻².

El análisis estadístico se realizó en dos etapas. En la primera se demostró la homogeneidad interna dentro de cada hectárea de trabajo; se partió de la verificación de los supuestos necesarios para la realización del análisis de varianza y, una vez verificados, se demostró que cada hectárea puede ser tratada como un grupo homogéneo en cada uno de los indicadores incluidos en el estudio.

Tabla 3. Composición química del BIOSTAN®

Humus soluble	Hormonas vegetales (mg/L)	Minerales (mg/L)	Aminoácidos (ppm)
pH 8.2	Giberelinas (GA3) 0,5-2	Ca 20,2	Ác. Aspártico 5,16
Materia orgánica 36 %	Citoquinina (Adenina) 0,01-0,05	Cr 0,225	Fenilalanina 3,38
Ácidos húmicos 50 %	Auxinas (AIA y AIP) 0,5-2	Cu 0,164	Glicina 0,24
Ácidos fúlvicos		Mg 6,52	Tirosina 0,07
50 %		Mn 0,492	Leucina 0,04
		K 18,30	Taurina 0,12
		Fe 11,4	Valina 0,20
		Na 5,70	Lisina 0,04
		Ni 0,032	
		Sr 0,087	
		Zn 1,11	
		N 0,5-1 %	
		P ₂ O ₅ 1-28 %	

Fuente: Garcés y Caro (2004) citados por Reyes *et al.* (2011)

Tabla 4. Índices de crecimiento evaluados

Índices de crecimiento	Ecuación	Unidades
Tasa Absoluta de Crecimiento		
Biomasa Foliar (TAC-foliar)	$TAC = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1)$	g.día ⁻¹
Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) foliar	$TRC = (\ln M_2 - \ln M_1) / (t_2 - t_1)$	g.g ⁻¹ .día ⁻¹
Tasa de asimilación Neta (TAN) por planta	$TAN = (M_2 - M_1) / (A_2 - A_1) \times (\ln A_2 - \ln A_1) / (t_2 - t_1)$	g.dm ⁻² .día ⁻¹
Duración del Área Foliar (DAF)	$DAF = A_2 - A_1 / (\ln A_2 - \ln A_1) \times (t_2 - t_1)$	dm ² .día ⁻¹
Índice de Área Foliar (IAF)	$IAF = m^2 \text{ área foliar} / m^2 \text{ de Superficie de suelo}$	m ² .m ⁻²

Fuente: Elaborado por los autores.

En la segunda etapa se comparó el grupo control con el grupo al que se le aplicó el bioestimulante en tres momentos de evaluación (7, 14 y 21 DDA). Como paso previo a la comparación se realizó una prueba de Levene con el objetivo de verificar homocedasticidad entre los dos grupos, en cada uno de los indicadores analizados, además de un test de Kolmogorov-Smirnov para la verificación del ajuste de los datos a la distribución normal. Ambos resultados permitieron darle cumplimiento al objetivo propuesto a través de una prueba *t* para la comparación de medias con varianzas homogéneas. En ambas etapas se utilizó, para todas las pruebas, un nivel de significancia del 5% ($p \leq 0,05$). Este análisis se realizó una vez verificados los supuestos necesarios para la realización de estas pruebas paramétricas.

Resultados

Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

La tasa absoluta de crecimiento en las hojas se evaluó en términos de la acumulación de la masa seca por día (TAC-foliar en $g \cdot día^{-1}$). Las plantas tratadas con BIOSTAN® mostraron valores significativamente superiores ($p \leq 0,05$) con incrementos de 14,36% al 35,4% a los 14 y 21 DDA con respecto al testigo (Figura 1). Los valores registrados para la TAC-foliar se incrementan entre la primera y tercera evaluación y oscilan entre 0,2 y 1,17 $g \cdot día^{-1}$.

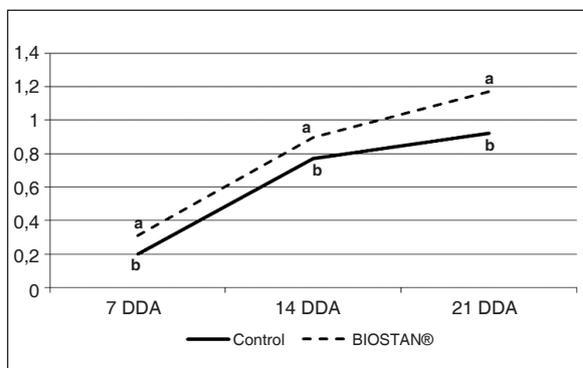


Figura 1. Efectos del BIOSTAN® sobre la TCA foliar en el frijol común en $g \cdot día^{-1}$. Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$

Tasa Relativa de Crecimiento foliar (TRC-foliar)

La (TRC-foliar) en $g \cdot g^{-1} \cdot día^{-1}$ fue significativamente superior (para $P \leq 0,05$), entre 3,72% y 6,84%, a favor de las plantas que recibieron los efectos del bioestimulante (Figura 2). Los valores de la TRC-foliar decrecieron entre la primera y tercera evaluación en el rango de 1,90 a 1,55 $g \cdot g^{-1} \cdot día^{-1}$.

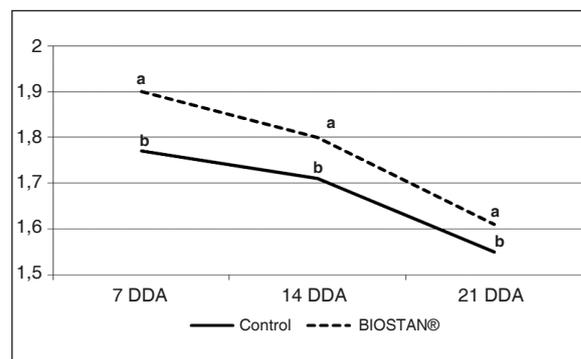


Figura 2. Efectos del BIOSTAN® sobre la TRC foliar en el frijol común en $g \cdot g^{-1} \cdot día^{-1}$. Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$

Tasa de asimilación neta (TAN)

La tasa de asimilación neta (TAN) en $g \cdot dm^{-2} \cdot día^{-1}$ expresó valores decrecientes desde la primera a la tercera evaluación entre 0,01 y 0,13 $g \cdot dm^{-2} \cdot día^{-1}$ pero resultó significativamente superior ($P \leq 0,05$) en las plantas tratadas con el bioestimulante, respecto al testigo, con incrementos entre 15,38% y 33,33%, (Figura 3).

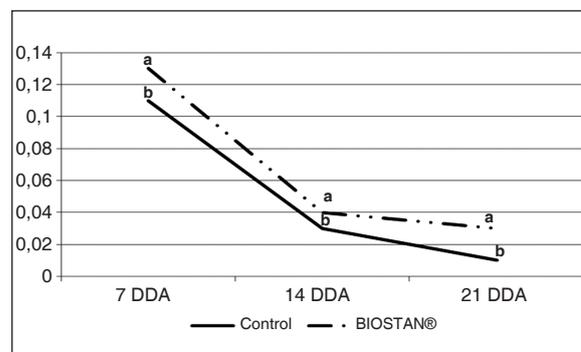


Figura 3. Efectos del BIOSTAN sobre la TAN en frijol común en $g \cdot dm^{-2} \cdot día^{-1}$. Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

Duración del Área Foliar (DAF)

La Figura 4 muestra que los valores de la DAF en las plantas tratadas con el BIOSTAN® resultaron significativamente superiores a los de las plantas controles ($P \leq 0,05$), con incrementos entre 14,46% y 25% en cada momento de evaluación. El rango de valores para la DAF varió entre 17,01 a 70,56 $\text{dm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$ en dependencia del tratamiento y la edad del cultivo. Además, las dimensiones de la DAF fueron crecientes de la primera a la tercera evaluación, como resultado del aumento de la edad del cultivo.

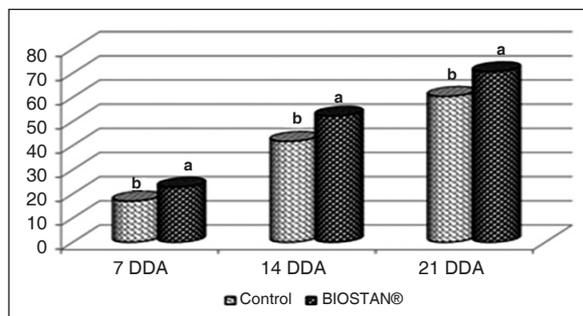


Figura 4. Efectos del BIOSTAN sobre la DAF en frijol común $\text{dm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$. Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

Índice de Área Foliar (IAF)

El IAF mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con incrementos entre 18,51% y 29,26% para las plantas que recibieron los efectos del BIOSTAN®. Este índice morfológico se incrementó a través del periodo evaluado. La variación osciló en el rango de 0,54 a 1,64 $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (Figura 5).

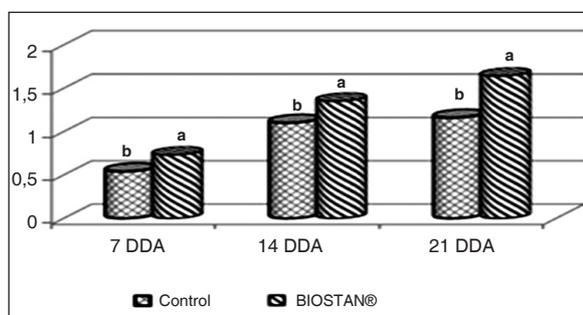


Figura 5. Efectos BIOSTAN sobre el IAF en el frijol común en $\text{dm}^2 \cdot \text{m}^{-2}$. Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$.

Contenido de pigmentos

Los contenidos de clorofila "a" clorofila "a+b" en las hojas de las plantas tratadas con BIOSTAN® fueron significativamente superiores ($p \leq 0,05$) con respecto al control (Figuras 6 y 8). El contenido de clorofila "a" osciló desde 3,2 a 4,5 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$. En las plantas tratadas el incremento representó entre 8,84% y 9,06%. El contenido de la clorofila "b" varió entre 1,8 y 3,0 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$ y no mostró diferencias significativas (Figura 7). La sumatoria de a+b alcanzó valores de 5 a 7,5 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$ con incrementos en las plantas tratadas entre 4,62% y 9,79%, mientras los carotenos oscilaron desde 0,91 a 2,0 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$ (Figura 9).

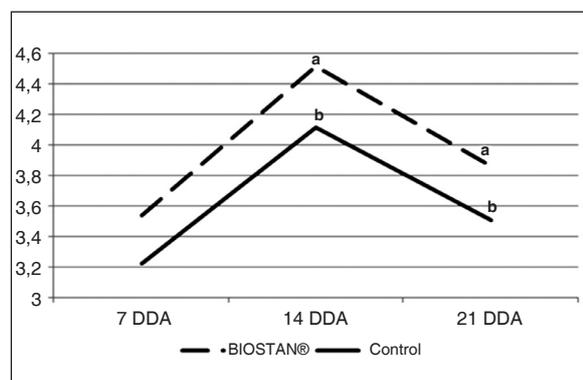


Figura 6. Efecto del BIOSTAN® sobre el contenido de la clorofila (a) en $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$. Letras distintas indican diferencias significativas.

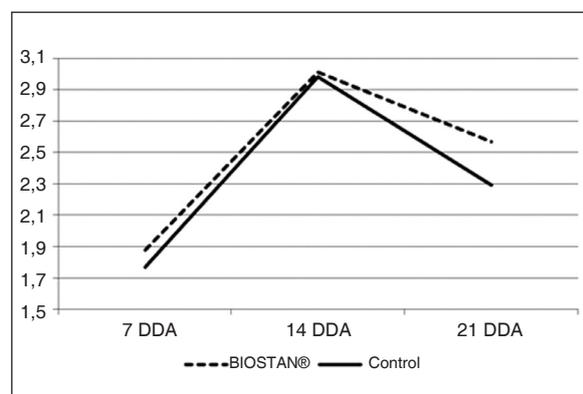


Figura 7. Efecto del BIOSTAN® sobre el contenido de la clorofila (b) $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$.

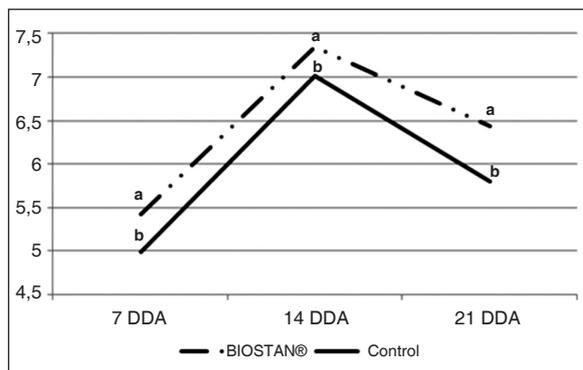


Figura 8. Efecto del BIOSTAN® sobre el contenido de clorofila (a+b) en mg. dm⁻². Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0.05$.

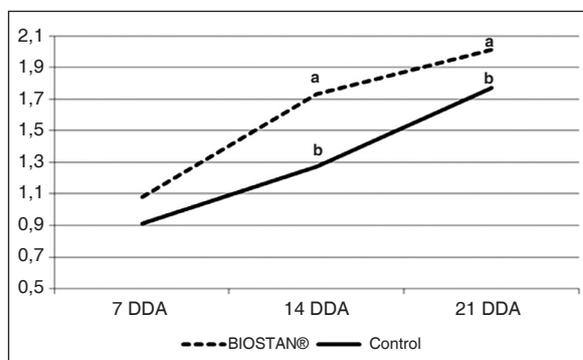


Figura 9. Efecto del BIOSTAN® sobre el contenido de carotenos mg. dm⁻². Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0.05$.

Discusión

Los valores registrados para la TAC-foliar (Figura 1) se incrementan entre la primera y tercera evaluación y oscilan entre 0,2 y 1,17 g.día⁻¹. Los valores obtenidos están comprendidos entre los 0,094 a 1,398 g.d⁻¹, determinados por Ascencio y Sgambatti (1992) citados por Medeiros et al. (2000), y los obtenidos por Medeiros et al. (2000), que oscilaron de 0,085 a 1,38 g.d⁻¹ en diferentes cultivares de frijol en condiciones de campo bajo estrés hídrico y nutricional. Ello permite afirmar que el comportamiento del cultivar Criollo responde positivamente a la aplicación del BIOSTAN®. Estos resultados están en correspondencia con el comportamiento de la altura y el incremento de la biomasa de las plantas tratadas con dicho bioestimulante (Torres et al., 2015).

Los valores de la TRC-foliar (Figura 2) decrecieron entre la primera y tercera evaluación en el rango de 1,90 a 1,55 g.g⁻¹.día⁻¹ y están comprendidos en los registrados por Medeiros et al. (2000) de 1,85 y 1,57 g.g⁻¹.día⁻¹ para cinco genotipos de frijol negro cultivados en condiciones de estrés hídrico y nutricional, así como por Perin et al. (2002) quienes encontraron valores que oscilan entre 1,97 y 1,69 g.g⁻¹.día⁻¹ en tres variedades de frijol negro en condiciones de campo.

La Tasa de Asimilación Neta (Figura 3) resultó significativamente superior en las plantas tratadas, lo que se corresponde con el incremento de biomasa que induce el BIOSTAN en este cultivar, coincidente con los reportes de Torres et al. (2015). Se observaron valores decrecientes entre 0,01 y 0,13 g.dm⁻².día⁻¹ desde la primera a la tercera evaluación. Estos fueron inferiores al rango de 0,14 a 0,9 g.dm⁻².día⁻¹ encontrado en tres cultivares de frijol en condiciones de campo por Ascencio y Sgambatti (1992) citados por Medeiros et al. (2000), y los informados por Medeiros et al. (2000), comprendidos entre 0,20 y 0,15 g.dm⁻².día⁻¹ en cinco genotipos de frijol negro cultivados en condiciones de estrés hídrico y nutricional.

El efecto positivo de disoluciones de sustancias húmicas de extractos de vermicompost sobre la TAN en frijol negro fue informado por Hernández et al. (2012), quienes señalan que los valores para la TAN decrecen con la edad del cultivo y oscilan entre 0,1 a 0,45 g.dm⁻².día⁻¹, rango superior al descrito por los autores, aun cuando las plantas crecían en condiciones de estrés hídrico y nutricional.

Los valores obtenidos para la TAN resultan bajos, dado que es conocido que en el cultivo de frijol la tasa máxima de fotosíntesis puede alcanzar los 2 g de CO₂.h⁻¹.m⁻², equivalente a una tasa de asimilación neta de 1,4 g.h⁻¹.m⁻² (White, 1988).

El rango de valores para la DAF (Figura 4) varió entre 17,01 y 70,56 dm².día⁻¹ en dependencia del tratamiento y la edad del cultivo. Estos resultados coinciden con los de Thurman y Martin (2000), quienes informaron valores comprendidos entre 20,01 y 55,35 dm².día⁻¹ para el cultivo del frijol.

Dado que la DAF expresa, en términos cuantitativos, cuánto tiempo una planta mantiene su superficie asimilativa activa, es decir, el tamaño relativo del aparato fotosintético que permanece en la planta con relación al tiempo, una mayor DAF se debería corresponder con mayor capacidad fotosintética y acumulación de biomasa.

Se destaca que el intervalo obtenido de IAF entre 0,54 a 1,64 $\text{dm}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (Figura 5) es lejano al óptimo de 3,5 a 5,5 $\text{dm}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ en el frijol (White, 1988), pero fue cercano al encontrado por Medeiros *et al.* (2000) y Araujo (2003) que varió entre 0,52 y 1,13 $\text{dm}^2 \cdot \text{m}^{-2}$.

El efecto beneficioso del BIOSTAN® sobre los indicadores morfológicos y fisiológicos evaluados, está asociado a que las disoluciones líquidas de sustancias húmicas incrementan la biomasa radical (Torres *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2012), estimula y la formación de células corticales y epidérmicas de la raíz, de acuerdo con Zandonadi *et al.* (2010) citados por García *et al.* (2012). Además, Aydin *et al.* (2012) afirman que estimulan el metabolismo secundario con la consecuente formación de fenoles y la activación de la síntesis de enzima catalasa bajo condiciones de estrés.

También activa los mecanismos de defensa antioxidativa (Portuondo, 2010)², estimula la biosíntesis de proteínas, incrementa la síntesis de prolina, la absorción de agua y la acumulación de pigmentos Calderín *et al.* (2012), y la estimulación de la síntesis de la enzima clorofilasa (Martínez, 2006).

En resumen, la posible penetración de la estructura de las sustancias húmicas al interior de la planta, trae consigo efectos directos e indirectos sobre los procesos metabólicos y fisiológicos del crecimiento y desarrollo vegetal (Atiyeh *et al.*, 2002; Nardi *et al.*, 2002, citados por García *et al.*, 2012).

Las tendencias crecientes y acentuadas que expresan los valores de los índices morfológicos DAF (Figura 4) e IAF (Figura 5) y menos acentuadas en el caso de la TAC-foliar (Figura 1), contrastan biológicamente con las tendencias decrecientes para los índices de eficiencia fisiológica de TCR-foliar (Figura 2) y la TAN (Figura 3), por cuanto los primeros deberían favorecer una mayor actividad fotosintética al indicar una mayor área foliar por unidad de superficie de suelo y mayor duración en el tiempo de esta.

Esta aparente contradicción biológica está asociada a la baja disponibilidad de humedad que tuvo el cultivo debido a la ocurrencia de bajas precipitaciones en el periodo, que no alcanzó a cubrir el 21% de la precipitación requerida (Tabla 4). Sin lugar a dudas, el cultivo creció en condiciones de estrés hídrico con reducido potencial hídrico foliar, lo que impactó negativamente a la fotosíntesis a través de los efectos que pueden sucederse: disminución de la apertura de los estomas, que incrementa la resistencia a la difusión del CO_2 ; reducción de la síntesis de los pigmentos clorofílicos y su acumulación; alteración de la fluidez en el tilacoide y con ello el transporte electrónico a nivel de membrana; afectación de la proporción de transcripción y expresión de genes de enzimas fotosintéticas, proteínas y otras macromoléculas de los complejos cloroplásticos que continuamente se sintetizan por exigencia del proceso fotosintético; reducción de la actividad del complejo enzimático; alteración del transporte de metabolitos en el sistema cloroplasto-citosol-células cribosas y acompañantes, y disminución de la capacidad de orientación de las hojas con relación a la radiación solar.

La eficiencia fisiológica disminuida de los indicadores TAN y TCR puede estar relacionada con el estrés nutricional del cultivo que creció en un suelo de baja fertilidad, por el rol bioquímico y fisiológico que juegan los nutrientes N, P, K, Mg y Fe, entre otros, en la actividad fotosintética de las plantas.

² Portuondo, L. 2010. *Efecto de los ácidos húmicos sobre el estrés por metales pesados en plantas de frijol (Phaseolus vulgaris L.)*. Tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias de la Química Agraria. Universidad Agraria de la Habana.

El efecto favorable de las sustancias húmicas sobre las clorofilas también ha sido demostrado por García *et al.* (2012), Martínez *et al.* (2012) y Martínez (2006)³. En investigaciones realizadas en condiciones controladas de estrés, las plantas expuestas a los ácidos húmicos contienen más pigmentos fotosintéticos indicando que la síntesis de pigmentos continúa aún bajo condiciones de mayor estrés. Según García *et al.* (2012) el total de clorofilas a+b y de carotenoides es un 15% mayor en las plantas tratadas, lo que garantiza la continuación de la fotosíntesis para la producción de energía aún bajo condiciones estresantes. El efecto benéfico de la aplicación de las sustancias húmicas sobre el contenido de pigmentos fotosintéticos ha sido asociado a que su acción incrementa la actividad de la enzima clorofilasa, que interviene en la síntesis de las clorofilas (Martínez, 2006).

El contenido de clorofila "a" osciló desde 3,2 a 4,5 mg.dm⁻², el contenido de la clorofila "b" de 1,8 a 3,0 mg.dm⁻², la sumatoria de a+b de 5 a 7,5 mg.dm⁻², mientras los carotenos oscilaron desde 0,91 a 2,0 mg.dm⁻². Estos rangos de variación se corresponden con los resultados para los pigmentos fotosintéticos en hojas de frijol común en condiciones de campo encontrados por Gomes *et al.* (2000), Medeiros *et al.* (2000), Perin *et al.* (2002) y Urchef *et al.* (2000) en los que la clorofila "a" varió desde 3,2 a 4,0; la clorofila "b" de 1,2 a 3,0 y la sumatoria de a+b desde 4,4 a 7,0 mg.dm⁻².

Conclusiones

Los valores de los índices de crecimiento en las plantas tratadas con el BIOSTAN® resultaron significativamente superiores a los de las plantas no tratadas en cada uno de los momentos de las determinaciones. Los índices de crecimiento tasa absoluta de crecimiento foliar (TAC), duración del área foliar (DAF) e índice de área foliar (IAF) registraron los mayores valores a los 21 DDA, mientras los índices de eficiencia fisiológica tasa

relativa de crecimiento foliar (TRC) y tasa de asimilación neta (TAN) mostraron los mayores valores a los 7 DDA.

El contenido de los pigmentos fotosintéticos clorofila "a", clorofilas a+b y carotenoides se incrementó significativamente en las plantas tratadas con BIOSTAN®, que no causó incrementos significativos en el contenido de clorofila "b".

Bibliografía

- Araujo, A. P. (2003). Análise de variancia dos dados primarios na análise de crescimento vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 38(1), 1–10.
- Arthur, G. D., Aremu, A. O., Kulkarni, M. G. y Van Staden, J. (2012). Vermicompost leachate alleviates deficiency of phosphorus and potassium in tomato seedlings. *HortScience* 47(9), 1304–1307. Recuperado de <http://bit.ly/2s6jijt>
- Aydin, A., Kant, C. y Turan, M. (2012). Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African Journal Agricultural Research*, 7, 1073-1086. DOI: 10.5897/AJAR10.274
- Azarmi, R., Giglou, M.T. y Taleshmikail, R. D. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. *Afr. J. Biotechnol.* 7(14), 2397-2401. Recuperado de <http://bit.ly/2rK7aOa>
- Boicet, T. F., Secada, Y., Chaveco, O., Boudet, A., Gómez, Y., Meriño, Y., Reyes, J. J., Ojeda, C. M., Tornes, N., y Barroso, L. (2011). Respuesta a la sequía de genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizando diferentes índices de selección. *Centro Agrícola* 38(4), 69-73. Recuperado de <http://bit.ly/2scCrdU>
- Cabrera, M. L., León, N., Mendoza, M. J., Palacios, Z. y Ortega, Y. (2009).

³ Martínez, B. D. (2006). *Evaluación del efecto del Liplant en indicadores bioquímicos-fisiológicos en el cultivo del maíz (Zea mays L.)* Tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias de la Química Agraria. Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba.

- Comportamiento fisiológico de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferente grado de tolerancia a la sequía en condiciones de campo. *Revista Agroecología de Cuba* 33 (2), 52-63. Recuperado de <http://bit.ly/2t4flwS>
- García, A. C., Berbara, R. L. L., Farías, L. P., Izquierdo, F. G., Hernández, O. L., Campos, R. H., & Castro, R. N. (2012). Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. *African Journal of Biotechnology*, 11(13), 3125-3134. Recuperado de <http://bit.ly/2sM9jHo>
- Castañeda, M. C., Córdova L. T., González, V. H., Delgado, A. A., Santacruz, A. V. y Gabino, G. S. (2006). Respuestas fisiológicas, rendimiento y calidad de semilla en frijol sometido a estrés hídrico. *Interciencia* 31(6), 461-466.
- Domínguez, J., Lazcano, C. & Gómez-Brandón, M. (2010). Influence of vermicompost on plant growth. Contributions toward the development of an objective concept. *Acta Zool. Mex.*, 26(1), 359-371. Recuperado <http://bit.ly/2rajUPv>
- Gardner, F.P., Pearce, R.B. & Mitchell, R.L., (1985). *Physiology of crop plants*. Iowa State University Press, USA.
- Gomes, A. A., Araújo, A. P., Rossiello, R. O. & Pimentel, C. 2000. Acumulación de biomasa, características fisiológicas e rendimiento de graos en cultivares de feijoeiro irrigados e sob sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35(10), 1927-1937. Recuperado de <http://bit.ly/2rKkW37>
- Hernández, G., Hernández, O., Guridi, F. & Arbelo, N. (2012). Influencia de la siembra directa y las aplicaciones foliares de extracto líquido de Vermicompost en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. cc-25-9. *Ciencias Técnicas Agropecuarias* 21(2), 86-90. Recuperado de <http://bit.ly/2snjYLe>
- Martínez, D., Huelva, R., Portuondo, L. & Guridi, F. (2012). Evaluación del efecto protector de las Sustancias Húmicas Líquidas en plantas de maíz cultivar P-2928 en condiciones de salinidad. *Centro Agrícola* 39(1), 29-32. Recuperado de <http://bit.ly/2rVyEif>
- Medeiros, G. A., Arruda, F. B., Sakai, E., Fujiwara, M. & Boni, N. R. (2000). Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus – dias acumulados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(9), 1733-1742. Recuperado de <http://bit.ly/2scs8qd>
- MINAGRI. (2009). Instructivo Técnico para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba.
- Mirakalaei, S. M. M., Ardebil, Z. O. & Mostafavi, M. (2013). The effects of different organic fertilizers on the growth of lilies (*Lillium longiflorum*). *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.* 4(1), 181-186. Recuperado de <http://bit.ly/2t445WL>
- Perin, A., Araújo, A. P. & Grandi, M. (2002). Efeito do tamanho da semente na acumulacao de biomassa e nutrientes e nas produtividades do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(12), 1711-1718. Recuperado de <http://bit.ly/2s6oNrT>
- Rakesh, J., Singh, J. & Pal Viq, A. (2014). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 14(1), 137-159. DOI 10.1007/s11157-014-9347-1
- Reyes, J., Guridi, F., Reynaldo, I., Ruisánchez, Y., Larrinaga, J., Murillo, B., Ruiz, F., Boicet, T., Ávila, C., Ojeda, C., Ivarez, Y. & Rodríguez, J., (2011). Efectos del humus líquido sobre algunos parámetros de calidad interna en frutos de tomate cultivados en condiciones de estrés salino. *Centro Agrícola*, 38 (3), 57-61. Recuperado de <http://bit.ly/2raVuoY>
- Terry, E., Padrón, J., Tejeda, R., & Díaz, T. (2013). Respuesta del cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Verlili) a la aplicación de diferentes bioproductos. *Cultivos Tropicales*, 34(3), 5-10. Recuperado de <http://bit.ly/2t49vRy>
- Thurman, C. M. & Martin, C. E. (2000). Growth leaf temperatures and leaf conductances of C₃ and C₄ grasses in a tall grass in

- northeasters, Kansas. U.S.A. *Flora*, 195 (1), 25-34. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30944-1](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30944-1)
- Torres, A., López, A., Hernández, G. & Díaz, B. (1984). Influencia de la humedad del suelo y la fertilización sobre el contenido de pigmentos verdes en posturas de *Citrus*. *Cultivos Tropicales*, 6(4), 775-788.
- Torres, A., Cué, J. L., Hernández, G. & Peñarrieta, S. (2015). Efectos del BIOSTAN® en la altura y masa seca de *Phaseolus vulgaris* L., genotipo criollo. *La Técnica*, (15), 18-25. Recuperado de <http://bit.ly/2sMIB2t>
- Ulloa, J. A., Ulloa, P. & Ramírez, R. J. C. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 3(8), 5-9. Recuperado de <http://bit.ly/2t4lv5C>
- Uma, B. & Malathi, M. (2009). Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of *Amaranthus* species. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 5(6), 1054-1060. Recuperado de <http://bit.ly/2sMgXI0>
- Urchef, M. A., Rodrigues, J. D. & Stone, L. F. (2000). Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, 33(3), 497-506.
- Vijaya, K. S. & Seethalakshmi, S. (2011). Contribution of *Parthenium* vermicompost in altering growth, yield and quality of *Alelmoschus esculentus* (L) Moench. *Adv. Biotechnol.* 11(02), 44-47.
- White J. W. (1988). Conceptos básicos de la fisiología del frijol. Serie 04SB-07.01 CIAT, Cali, Colombia.