

EFICACIA DE BIOESTIMULANTES SOBRE EL CRECIMIENTO INICIAL DE PLANTAS DE FRÉJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.)

BIOSTIMULANTS EFFECTIVENESS ON INITIAL PLANT GROWTH OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.)

Jessica Elizabeth Cargua Chávez¹; Grace Lisbeth Orellana Castro¹; Anabel del Carmen Cuenca Tinoco¹; Galo Alexander Cedeño García²

¹Instituto Superior Tecnológico Calazacón, Av. Los Anturios y Calle B. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

²Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, sector El Gramal. Calceta, Manabí, Ecuador.

Email: ysikg1986@hotmail.com

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
12/02/2019

Aceptado:
20/06/2019

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
10(1):14-22

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la eficacia de bioestimulantes sobre el crecimiento inicial de plántulas de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). Los bioestimulantes probados fueron aminoácidos, carbohidratos, extracto de *Chlorella*, extracto de *Ascophyllum nodosum*, ácidos húmicos y fúlvicos, fitohormonas y un tratamiento control. La aplicación de tratamientos se realizó por remojo de semillas en soluciones bioestimulantes por un periodo de 12 horas, luego se establecieron en macetas de 500 g de capacidad, donde a la emergencia de las plántulas se hizo una aplicación en drench de los respectivos bioestimulantes. Se utilizó un diseño completamente al azar con siete tratamientos, tres replicas y 21 unidades experimentales. Las principales variables registradas fueron longitud radical, área foliar, peso seco, eficacia y tasas relativas de crecimiento (TRC), asimilación neta (TAN) y relación de área foliar (RAF) a los 7, 14 y 21 días después de la emergencia (DDE). Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y la separación de medias con Tukey al 5% de probabilidades de error. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para longitud radical, área foliar y peso seco de plántulas a los 21 DDE, donde los bioestimulantes a base de fitohormonas, aminoácidos y extracto de algas *Chlorella* mostraron los mayores promedios comparados con el testigo. Así mismo, estos tratamientos alcanzaron mayores TRC, TAN y RAF a los 14 y 21 DDE. La mayor eficacia en peso seco fue de 143% con aplicación de fitohormonas en comparación con el testigo. Se concluye que los bioestimulantes fueron eficaces para promover el crecimiento inicial de plántulas de fréjol.

Palabras clave: Cultivo de fréjol, biorreguladores, tasas de crecimiento.

Abstract

This research aimed to evaluate the effectiveness of biostimulants on the initial growth of bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). The tested biostimulants were amino acids, carbohydrates, *Chlorella* extract, *Ascophyllum nodosum* extract, humic and fulvic acids, phytohormones, and a control treatment. The treatment application was carried out by soaking the seeds in biostimulant solutions for 12 hours, then planted in pots of 500gr of capacity, and at seedling emergence the biostimulants were applied through drench. A randomized complete block design with seven treatments, three replicates, and 21 experimental units was carried out. The main variables recorded were root length, leaf area, dry weight, efficacy and relative growth rate (RGR), net assimilation (NA) and leaf area ratio (LAR) at 7, 14, and 21 days after emergence (DAE). Data were subjected to analysis of variance and comparison among means with Tukey at 5% error-probability. Results showed significant differences ($p < 0.05$) for root length, leaf area, and dry weight of seedlings at 21 DAE, where biostimulants based on phytohormones, amino acids, and *Chlorella* extract showed the best averages when compared with the control; In addition, these treatments showed higher RGR, NA, LAR at 21 DAE. The highest efficacy for dry weight was 143% when applying phytohormones compared with the control. It is concluded that biostimulants were effective on promoting initial growth of bean seedlings.

Keywords: Beans crop, bioregulators, growth rate.

INTRODUCCIÓN

El fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la especie leguminosa más cultivada y consumida en Ecuador, que junto con las otras leguminosas están presentes en los principales sistemas de producción (monocultivo, asociado o en rotación de cultivos) en la Sierra y Costa (Ernest *et al.*, 2008; Peralta *et al.*, 2013). El fréjol se consume en vainas inmaduras y como grano seco, debido a su alto contenido proteico (22%) se considera un componente básico de la canasta familiar ecuatoriana (Guamán *et al.*, 2004). Actualmente, en el Ecuador se cosechan 17 484 y 30 130 ha de fréjol tierno y seco, con una producción promedio de 20 400 y 19 383 t.año⁻¹, donde la mayor producción se destina al consumo interno, de ahí su importancia para la seguridad alimentaria del país (MAG, 2017). Sin embargo, el cambio climático se está convirtiendo en una seria amenaza para la producción del cultivo de fréjol a nivel mundial y regional (Porch y Jahn, 2001; CEPAL, 2013; Lubobo *et al.*, 2016; Medina *et al.*, 2016). En Ecuador se ha estimado de acuerdo a dos modelos predictivos, que debido a variaciones climáticas de temperatura y pluviosidad, los ingresos económicos del cultivo de fréjol se reducirán en un 5,62 y 10,47% para los años 2020 y 2030 con el modelo A, mientras que el modelo B evidencia que la reducción de ingresos será de 12,14 y 9,7% para el 2020 y 2030, respectivamente (Jiménez *et al.*, 2012).

A largo plazo, el cambio climático podría afectar la agricultura de varias maneras, como la cantidad y calidad de los cultivos en términos de productividad, tasas de crecimiento, fotosíntesis y tasas de transpiración (DaMatta *et al.*, 2010; Mahato, 2014). La evidencia científica sugiere que los cultivos C₃ como el fréjol incrementarán las cosechas por el efecto positivo de la concentración de CO₂, también se esperan cambios negativos como reducción de la concentración de proteínas, nutrientes, alteraciones lipídicas en las membranas y procesos reproductivos por efecto del estrés por altas temperaturas (Porch y Jahn, 2001; DaMatta *et al.*, 2010).

Entre los efectos negativos del cambio climático, las temperaturas extremas pueden incidir negativamente sobre los cultivos. En este sentido, se ha demostrado que temperaturas menores a 8°C y superiores a 30°C pueden reducir la tasa de germinación de semillas en fréjol y el rendimiento de grano del maíz, lo cual se vuelve más drástico en presencia de déficit hídrico y exceso de agua en el suelo (Machado *et al.*, 2006; Hatfield y Prueger, 2015). Recientes estudios han revelado que los rendimientos medios globales de maíz y soja se estancarán con el calentamiento incluso cuando se consideren los ajustes agronómicos (Iizumi *et al.*, 2017).

Otro de los factores ambientales alterados por el cambio climático y actividades antropogénicas a los que se enfrentan las plantas, son los altos niveles de radiación

UV-B que pueden disminuir las tasas fotosintéticas por fotoinhibición y daño al aparato fotosintético, que compromete la producción de biomasa; además, de significativas alteraciones a diversas biomoléculas como el ADN, desnaturalización de membranas y proteínas, que a menudo pueden causar mutaciones hereditarias negativas para diversos procesos fisiológicos (Casierra, 2007; Carrasco, 2009; Zlatev *et al.*, 2012).

Por otra parte, las condiciones extremas como la acidez y la salinidad pueden reducir significativamente la tasa de germinación de semillas y el crecimiento inicial de plántulas. En este sentido se ha evidenciado que en dicotiledóneas, las raicillas jóvenes, hojas y los brotes suelen ser sensibles a condiciones de pH bajo (Lal, 2016). En especies leguminosas como los tréboles, alfalfa y fréjol se ha determinado que el crecimiento y el rendimiento se reduce significativamente con la disminución del pH del suelo (Agić *et al.*, 2009; Deska *et al.*, 2011; Legesse *et al.*, 2013). Así mismo, varias investigaciones señalan que el fréjol es altamente sensible a salinidad, dado que esta condición afecta marcadamente la tasa de germinación, crecimiento y puede reducir hasta en un 50% la producción del cultivo (Can *et al.*, 2014; Mena *et al.*, 2015; Quintana *et al.*, 2016).

Aunque en Santo Domingo no existen datos precisos relacionados al efecto negativo del cambio climático sobre especie cultivadas, estudios recientes predicen condiciones adversas para cultivos de subsistencia en Ecuador, entre estos el fréjol (Jiménez *et al.*, 2012). Sin embargo, Santo Domingo es una zona altamente lluviosa que naturalmente presenta suelos ácidos con presencia de Al³⁺ y valores de pH en algunas zonas menores de 5, situación considerada como un estrés abiótico para el cultivo, considerando que el pH ideal para el cultivo esta entre 6 a 7,5 y que valores de 5 es crítico para el cultivo (Ishitani *et al.*, 2004; Lunze *et al.*, 2007). Se considera que el fréjol común es relativamente más sensible a la toxicidad de Al en comparación con otros cultivos, dado que inhibe el desarrollo radical, lo que resulta en reducciones de rendimiento de 30–60% (Rangel *et al.*, 2007; Habtamu, 2017).

Debido a las condiciones estresantes que provoca el calentamiento global y situaciones adversas de los suelos en los cultivos, se ha sugerido el uso de bioestimulantes para mejorar la tolerancia al estrés, dado el potencial efecto bioquímico y fisiológico que muestran los bioestimulantes para superar el impacto negativo sobre los cultivos derivados del estrés abiótico (Van *et al.*, 2017; Yamauchi, 2018). En este sentido, surge la pregunta ¿El uso de bioestimulantes en etapas tempranas puede potenciar el crecimiento inicial del fréjol?, razón por la cual, el objetivo de la investigación fue evaluar la eficacia de bioestimulantes sobre el crecimiento inicial de plántulas de fréjol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se desarrolló durante los meses de enero a marzo del 2019 bajo condiciones de casa de cultivo en el Instituto Tecnológico Superior Calazacón, Santo Domingo, Ecuador. El ensayo se localizó en las coordenadas geográficas 00°16'88" latitud Sur y 79°12'45" longitud Oeste, a una altitud de 625 msnm.

Material vegetal

El material vegetal usado fueron semillas de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.), de seis meses de almacenamiento con un porcentaje de germinación superior al 98%, las cuales fueron tratadas en pre-germinación y en pos-emergencia en estado de plántula con los diferentes bioestimulantes evaluados.

Tratamientos

Los bioestimulantes testeados fueron: T₁ (aminoácidos), T₂ (carbohidratos), T₃ (extracto de algas *Chlorella*), T₄ (extracto de algas *Ascophyllum nodosum*), T₅ (ácidos húmicos y fúlvicos), T₆ (fitohormonas) y T₇ (testigo absoluto). Como fuente de aminoácidos se utilizó un producto comercial a base de 24% de aminoácidos libres. La fuente de carbohidratos utilizada fue melaza. Como fuente de extracto de algas *Chlorella* y *Ascophyllum nodosum*, se utilizaron bioestimulantes comerciales. También se utilizó un producto comercial a base de ácidos húmicos y fúlvicos con una concentración de 15% de los respectivos ácidos orgánicos. Así mismo, como fuente de fitohormonas se utilizó un producto comercial trihormonal compuesto por 90 ppm de citocininas, 50 ppm de auxinas y 50 ppm de ácido giberélico.

Aplicación de tratamientos

Para la aplicación de los bioestimulantes previamente se prepararon soluciones de cada producto en dosis de 5 mL L⁻¹ de agua. Luego las semillas fueron sometidas a remojo en las respectivas soluciones durante 12 horas. Seguidamente, fueron establecidas en macetas de 500 g de capacidad previamente llenas con suelo andisol a pH 4,8 y con bajo contenido de N, P, K, Ca, Mg y S. Las plántulas emergieron completamente del suelo a los 7 días después de la siembra, momento en el cual recibieron una aplicación en drench de las respectivas soluciones de bioestimulantes en dosis de 5 mL.planta⁻¹.

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un Diseño de Completamente al Azar (DCA) con siete tratamientos, tres replicas y 21 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó de 15 plántulas, que fueron colocadas a 22 cm de distancia entre sí.

Variables respuesta y análisis de datos

Las variables registradas fueron: altura de planta (AP) que se determinó en cm a los 21 días después de la emergencia (DDE) para lo cual se registró el dato desde el nivel del suelo hasta la V formada por los últimos dos trifolios con la ayuda de una regla. Diámetro de tallo (DT) fue registrado en mm a los 21 DDE, lo cual se realizó a nivel del suelo con ayuda de un calibrador. El índice de vigor o esbeltez se evaluó a los 21 DDE para lo cual se dividió la altura de planta en cm para el diámetro de tallo en mm. Longitud radical (LR) fue determinada en cm a los 21 DDE registrando el dato desde el cuello del tallo hasta el ápice de la cabellera radical. Además, se registró la tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de asimilación neta (TAN) y relación de área foliar (RAF) a los 7, 14 y 21 DDE, lo cual fue calculado con las ecuaciones [1], [2] y [3].

$$TRC = \frac{(LnP2 - LnP1)}{(T2 - T1)} = g \text{ g}^{-1} \text{ día}^{-1} \quad [1]$$

$$TAN = \left[\frac{P2 - P1}{T2 - T1} \right] * \left[\frac{LnAF2 - LnAF1}{AF2 - AF1} \right] = g \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1} \quad [2]$$

$$RAF = \frac{\left[\left(\frac{AF1}{P1} \right) + \left(\frac{AF2}{P2} \right) \right]}{2} = \text{cm}^2 \text{ g}^{-1} \quad [3]$$

Donde:

Ln = logaritmo natural
 P₁ = peso inicial
 P₂ = peso final
 T₁ = tiempo inicial
 T₂ = tiempo final
 AF₁ = área foliar inicial
 AF₂ = área foliar final

El área foliar (AF) fue registrada en cm² a los 0, 7, 14 y 21 DDE mediante el método del sacabocado, que consistió en extraer de las láminas foliares cuadrantes de un área y peso seco conocido, que luego se relacionó con el peso seco de las hojas para obtener el área foliar por planta. El peso seco total por planta (PS) fue determinado a los 0, 7, 14 y 21 DDE, lo cual se obtuvo sometiendo las plántulas a secado en estufa de aire forzado a 80°C hasta alcanzar peso constante, según la metodología descrita por Pérez *et al.* (2013). En cada tiempo de evaluación de área foliar y peso seco, se extrajeron tres plántulas de cada unidad experimental.

La eficacia de los bioestimulantes fue determinada con base en el peso seco de planta a los 21 DDE, lo cual se calculó con la ecuación [4].

$$Eficacia (\%) = \left(\frac{cd - \tau d}{cd} \right) * 100 \quad [4]$$

Donde:

Cd = peso seco en plántulas tratadas con bioestimulantes

Td = peso seco en plántulas no tratadas con bioestimulantes

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y la separación de medias se realizó mediante el test de Tukey al 5% de probabilidades de error. Para mayor consistencia de la información el experimento fue repetido tres veces en el tiempo, por lo que los datos analizados fueron el promedio de las tres replicas en el tiempo.

Manejo específico del experimento

Previo a la siembra de las semillas, el sustrato de las macetas fue desinfectado con captan 80% en dosis de 2 g.L⁻¹ de agua. Las plántulas fueron regadas dos veces por semana mediante aspersión. El control de malezas fue realizado de manera manual. Debido a la presencia de ácaros en los foliolos, se realizó una aplicación de abamectina en dosis de 1,25 mL.L⁻¹ de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación temprana de bioestimulantes no influyó significativamente ($p > 0,05$) la altura de planta, el diámetro de tallo ni el índice de robustez (Cuadro 1), lo cual indica que en etapas tempranas de crecimiento estas variables no responden a los ingredientes bioquímicos contenido en los bioestimulantes. Posiblemente, esto se deba a que en etapas iniciales el crecimiento en altura y diámetro esté determinado genéticamente, tal y como lo describen Johnson y Lenhard (2011) y Powell y Lenhard (2012), quienes indican que el crecimiento vegetal puede depender de las características genéticas de las plantas.

Cuadro 1. Influencia de aplicación temprana de bioestimulantes sobre la altura de planta, diámetro de tallo e índice de robustez en plántulas de fréjol bajo condiciones de macetas. Santo Domingo, Ecuador. 2019

| Tratamientos | Altura de planta (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Índice de robustez |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
| Aminoácidos | 23,17 | 5,00 | 4,64 |
| Carbohidratos | 24,67 | 5,00 | 4,94 |
| Chlorella | 25,83 | 5,00 | 5,17 |
| A. nodosum | 23,17 | 4,66 | 4,97 |
| Ácidos húmicos y fúlvicos | 25,17 | 5,00 | 5,03 |
| Fitohormonas | 25,17 | 4,46 | 5,40 |
| Testigo | 20,00 | 4,00 | 5,00 |
| C.V. (%) | 10,44 | 9,90 | 11,37 |
| p-valor ANOVA | 0,1589 | 0,1702 | 0,6690 |

La figura 1, muestra que la aplicación temprana de bioestimulantes influyó significativamente ($p = 0,0020$) sobre la longitud de raíces, donde el tratamiento a base de

fitohormonas mostró el mayor valor con 31,81 cm, seguido por los bioestimulantes a base de aminoácidos y extracto de *Chlorella* con 26,00 y 26,07 cm, en comparación al tratamiento testigo que solo alcanzó 19,17 cm de longitud de raíces. Los demás tratamientos mostraron un comportamiento estadísticamente similar al tratamiento control. En este sentido los resultados se asemejan a los reportados por Dörr et al. (2018), quienes alcanzaron mayor crecimiento radical en plántulas de soya tratadas con aminoácidos. Así mismo, Soares et al. (2016), reportaron mayor crecimiento de raíces en plántulas de soya tratadas con aminoácidos y hormonas. Resultados similares fueron alcanzados por Kavipriya et al. (2011) quienes obtuvieron mayor longitud de raíces en plántulas de fréjol tratadas con bioestimulantes a base de extractos de algas.

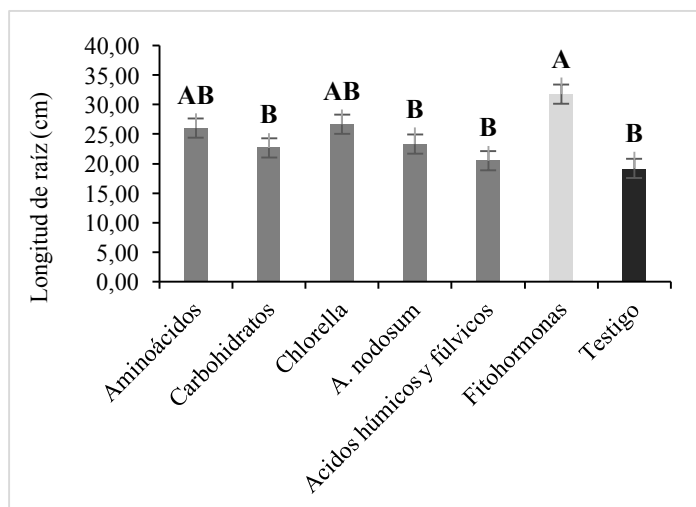


Figura 1. Influencia de aplicación temprana de bioestimulantes sobre la longitud de raíces en plántulas de fréjol bajo condiciones de macetas. Santo Domingo, Ecuador, 2019. Cada barra representa la media de tres repeticiones (\pm error estándar). Letras distintas entre barras difieren estadísticamente de acuerdo al test de Tukey al 5% de probabilidades de error.

El área foliar fue afectado significativamente ($p = 0,0133$) por los bioestimulantes probados, donde el tratamiento a base de fitohormonas presentó el mayor promedio de área foliar con 99,91 cm², seguido por los bioestimulantes a base de aminoácidos y extractos de algas *Chlorella* y *A. nodosum* con 95,81; 88,32 y 86,93 cm², en relación al tratamiento control que tan solo alcanzó 63,21 cm². Los demás bioestimulantes testeados incrementaron significativamente el área foliar en comparación al tratamiento testigo, pero no superaron al tratamiento a base de fitohormonas (Figura 2). Los resultados obtenidos se relacionan a los informados por Soares et al. (2016), quienes reportaron mayor área foliar en plantas de soya que recibieron aplicaciones tempranas de bioestimulantes a base de hormonas y aminoácidos, comparado con el

testigo control que obtuvo un área foliar significativamente menor. En este mismo contexto, Morales *et al.* (2017), reportaron incrementos significativos del área foliar en plantas de fréjol tratadas con bioestimulantes bajo condiciones de déficit hídrico, lo cual demuestra que el uso de estos productos es clave para mejorar el comportamiento de las plantas bajo condiciones de estrés.

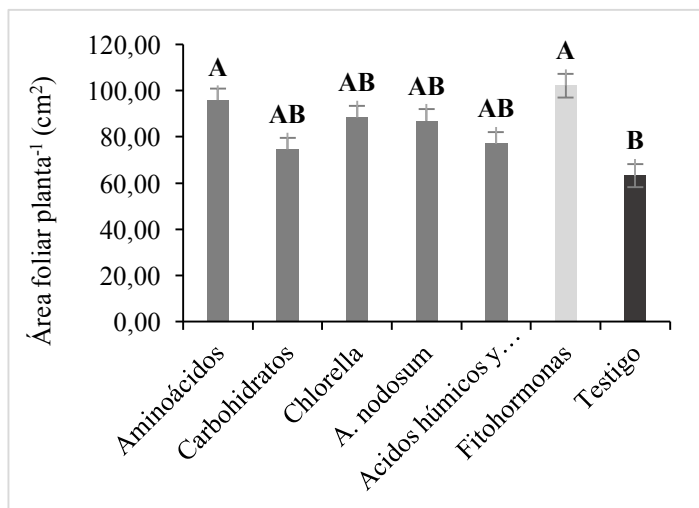


Figura 2. Influencia de aplicación temprana de bioestimulantes sobre área foliar de plántulas de fréjol bajo condiciones de macetas. Santo Domingo, Ecuador, 2019. Cada barra representa la media de tres repeticiones (\pm error estándar). Letras distintas entre barras difieren estadísticamente de acuerdo al test de Tukey al 5% de probabilidades de error.

El peso seco planta⁻¹ fue influenciado significativamente ($p=0,0033$) por los bioestimulantes evaluados, donde el producto a base de fitohormonas mostró el mayor promedio de peso seco con 3,14 g, seguido por los tratamientos a base de aminoácidos y extracto de *Chlorella* con 2,62 y 2,97 g, en contraste al tratamiento control que solo alcanzó un promedio de 1,29 g de peso seco. Los demás bioestimulantes probados también mostraron un efecto significativo sobre el peso seco planta⁻¹, en relación al tratamiento testigo, pero inferior al tratamiento a base de fitohormonas (Figura 3). Los resultados coinciden a los reportados por Soares *et al.* (2016) y Dawood *et al.* (2019), que obtuvieron mayor biomasa seca en plántulas de soya y haba con aplicaciones de bioestimulantes a base de aminoácidos, fitohormonas y ácidos húmicos en relación a los tratamientos controles. Así mismo, Kavipriya *et al.* (2011) reportaron un mayor promedio de acumulación de materia seca en plántulas de soya tratadas con bioestimulantes a base de extractos de algas marinas, lo cual coincide a lo obtenido por Castellanos y Santacruz (2017), quienes reportaron resultados similares en el fréjol *Vigna radiata*. Por su parte, Mohtashami *et al.* (2016), consiguieron mayores

incrementos de biomasa en fréjol tratado con fitorregulares a base de ácido naftalenacético y ácido salicílico, en relación al tratamiento control.

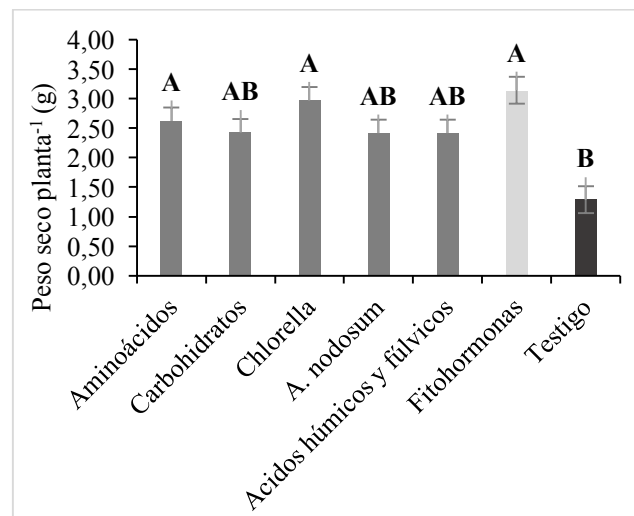


Figura 3. Influencia de aplicación temprana de bioestimulantes sobre peso seco de plántulas de fréjol bajo condiciones de macetas. Santo Domingo, Ecuador, 2019. Cada barra representa la media de tres repeticiones (\pm error estándar). Letras distintas entre barras difieren estadísticamente de acuerdo al test de Tukey al 5% de probabilidades de error.

Los resultados obtenidos en longitud de raíz, área foliar y peso seco demuestran que los bioestimulantes evaluados potencializan el crecimiento inicial de las plántulas de fréjol, lo cual se ve reflejado en las tasas de crecimiento relativo (TRC), tasa de asimilación neta (TAN) y relación de área foliar (RAF) mostradas en las figuras 4, 5 y 6.

En la figura 4, se aprecia que el mayor incremento en biomasa seca con relación a una biomasa seca inicial descritos por la TRC se presentó con los bioestimulantes a base de fitohormonas, extracto de *Chlorella* y aminoácidos a partir de los 14 y 21 días después de la emergencia, en relación al tratamiento testigo. La misma tendencia se muestra en la figura 5, donde la mayor TAN que refleja el incremento de peso seco por unidad de área foliar día⁻¹ fue alcanzada por los mismos bioestimulantes descritos para la TCR, dado el hecho que superaron al tratamiento testigo a partir de los 14 y 21 días después de la emergencia. Para el caso de la relación de área foliar (RAF) que refleja el incremento del área foliar en relación a la masa seca, los tratamientos a base de fitohormonas, aminoácidos y extracto de *Chlorella* mostraron el mayor incremento en el tiempo, independientemente de la tendencia de la curva (Figura 6).

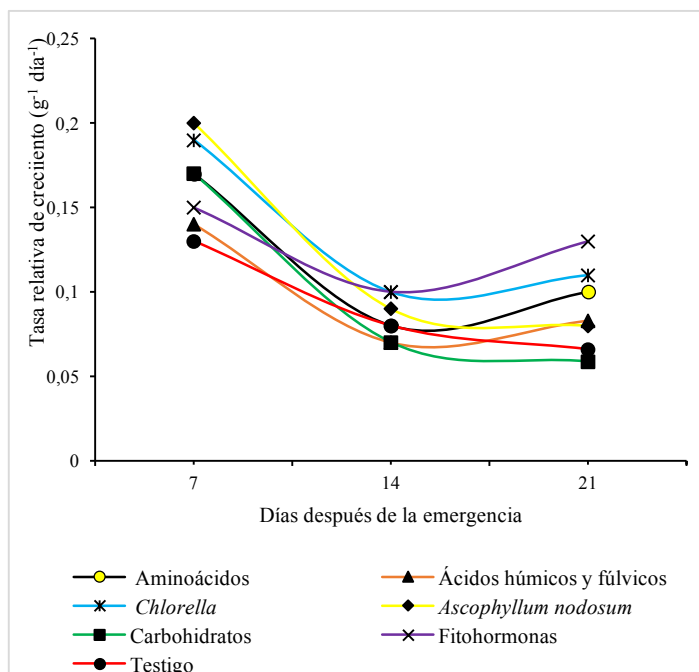


Figura 4. Influencia de aplicación temprana de bioestimulantes sobre la tasa de crecimiento relativo de plántulas de fréjol bajo condiciones de macetas. Santo Domingo, Ecuador, 2019.

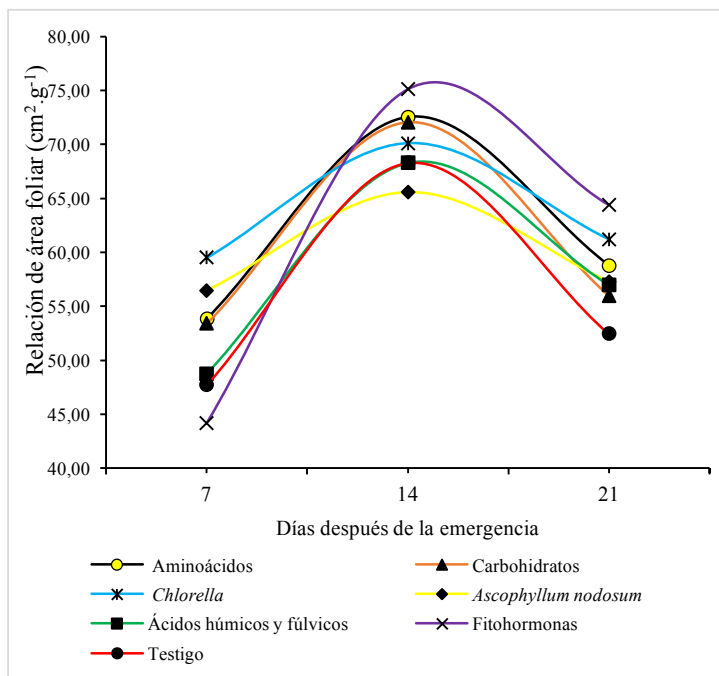


Figura 6. Influencia de aplicación temprana de bioestimulantes sobre la relación de área foliar en plántulas de fréjol bajo condiciones de macetas. Santo Domingo, Ecuador, 2019.

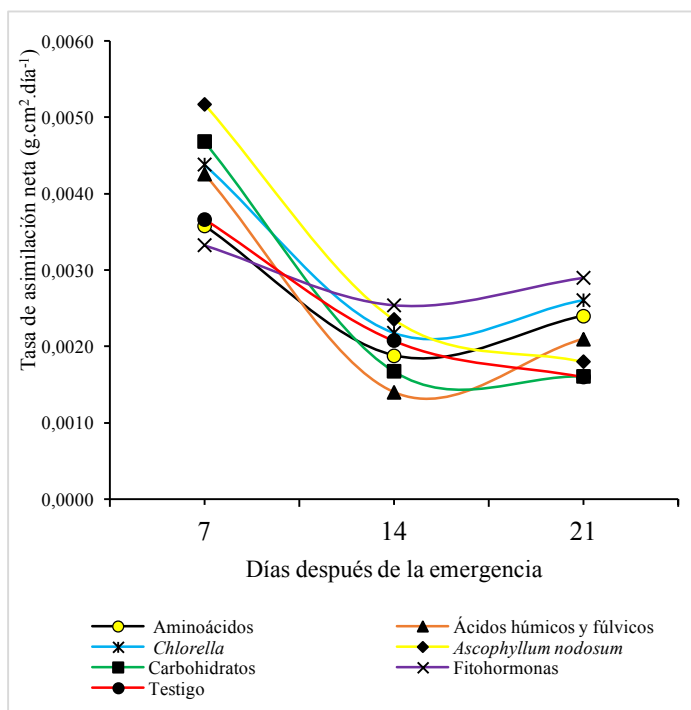


Figura 5. Influencia de aplicación temprana de bioestimulantes sobre la tasa de asimilación neta de plántulas de fréjol bajo condiciones de macetas. Santo Domingo, Ecuador, 2019.

En cuanto a eficacia de los bioestimulantes el cuadro 2 muestra que en base a ganancia de peso seco el tratamiento más eficaz fue el bioestimulante a base de fitohormonas con 143% de eficacia, seguido de los tratamientos a base de extracto de *Chlorella* y aminoácidos con 130 y 103%, en relación al tratamiento control. Sin embargo, desde el punto de vista agrícola cabe resaltar que todos los bioestimulantes probados fueron eficaces para incrementar el desarrollo inicial de plántulas de fréjol.

Cuadro 2. Eficacia de los bioestimulantes basada en peso seco en relación al testigo. Santo Domingo, Ecuador, 2019

| Tratamientos | Eficacia (%) en base a peso seco |
|-----------------------|----------------------------------|
| Fitohormonas | 143 |
| <i>Chlorella</i> | 130 |
| Aminoácidos | 103 |
| A. húmicos y fúlvicos | 88 |
| <i>A. nodosum</i> | 88 |
| Carbohidratos | 88 |
| Testigo | ---- |

Los resultados obtenidos evidencian el efecto positivo de los bioestimulantes para potenciar la germinación y crecimiento inicial del cultivo de fréjol, lo cual puede deberse a que estos productos presentan concentraciones adecuadas de componentes bioquímicos y sustancias reguladoras de crecimiento que promueven un mejor desempeño fisiológico de las plantas (Subbarao et al., 2015; Du Jardín, 2015). En este sentido, se ha propuesto

que si bien la actividad de las hormonas vegetales está controlada por la expresión de genes a diferentes niveles, hay genes de plantas que se activan en presencia de hormonas vegetales específicas. Por lo tanto, estimular la expresión génica puede ser una forma efectiva de mejorar la germinación de las semillas y el crecimiento inicial de plántulas (Miransari y Smith, 2014). Así mismo, se ha comprobado que los extractos de algas marinas son efectivos para potenciar procesos fisiológicos en plantas, dada la alta concentración de sustancias bioquímicas que hacen más eficiente el desarrollo vegetal (Tuhy *et al.*, 2013). Los bioestimulantes influyen en el crecimiento de las plantas y el metabolismo del nitrógeno, especialmente debido a su contenido en hormonas, aminoácidos y otras moléculas de señalización. Un aumento significativo en la longitud y densidad del pelo de la raíz se observa a menudo en plantas tratadas con bioestimulantes, lo que sugiere que estas sustancias pueden inducir una "respuesta de adquisición de nutrientes" que favorece la absorción de iones en las plantas a través de un aumento en el área de la superficie de absorción (Nardi *et al.*, 2016). Además, los bioestimulantes influyen positivamente en la actividad y la expresión génica de las enzimas que funcionan en el metabolismo primario y secundario de las plantas (Du-Jardín, 2015)

CONCLUSIONES

Los bioestimulantes fueron eficaces para promover el crecimiento inicial de plántulas de fréjol.

Las mayores tasas de crecimiento fueron alcanzadas por los tratamientos a base de fitohormonas, aminoácidos y extractos de *Chlorella*.

El bioestimulante a base de fitohormonas mostró la mayor eficacia en base a peso seco con 143% de eficacia en relación al testigo.

LITERATURA CITADA

Agić, D.; Bukvić, G.; Grljušić, S.; Bešlo, D.; Horvatić, J. and Novoselović, D. 2009. Effect of pH on α -Amylase Activity and Early Seedling Growth of Red Clover (*Trifolium pratense* L.). *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj* 37(2): 77-80.

Can, A.; Ramírez, L.; Ortega, H.; Cruz, E.; Flores, D.; Sánchez, E. y Madueño, A. 2014. Germinación y crecimiento de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. en condiciones de salinidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(5): 753-763.

Carrasco, L. 2009. Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Idesia* 27(3): 59 – 76.

Casierra, F. 2007. Fotoinhibición: Respuesta fisiológica de los vegetales al estrés por exceso de luz. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 1(1): 114 – 123.

Castellanos, L. and Santacruz, F. 2017. Effect of seaweed liquid extracts from *Ulva lactuca* on seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Applied Phycology* DOI 10.1007/s10811-017-1082-x.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2013. Impactos Potenciales del Cambio Climático sobre los Granos Básicos en Centroamérica. Mexico, DF. 139 p.

DaMatta, F.; Grandis, A.; Arenque, B. and Buckeridge, M. 2010. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International* 43: 1814 – 1823.

Dawood, M.; Abdel-Baky, Y.; El-Sayed, M. and Shaker, G. 2019. Enhancement quality and quantity of faba bean plants grown under sandy soil conditions by nicotinamide and/or humic acid application. *Bulletin of the National Research Centre* 43(28): 1 – 8.

Deska, J.; Jankowski, K.; Bombik, A. and Jankowska, J. 2011. Effect of growing medium pH on germination and initial development of some grassland plants. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 10(4): 45-56.

Dörr, C.; Lopes, T.; Panozzo, L. and Braga, L. 2018. Treatment of soybean seeds of different levels of physiological quality with amino acids. *Journal of Seed Science* 40(4): 407-414.

Du Jardín, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3 – 14.

Ernest, G.; Falconí, E.; Peralta, E. y Kelly, J. 2008. Encuesta a productores para orientar el fitomejoramiento de frijol en Ecuador. *Agronomía Mesoamericana* 19(1): 07-18.

Guamán, R.; Andrade, C. y Álava, J. 2004. Guía para el cultivo de fréjol en el Litoral ecuatoriano. *Boletín Divulgativo # 316*. Guayaquil, EC. Estación Experimental Boliche – INIAP. 52 p.

Hatfield, J. and Prueger, J. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes* 10: 4 – 10.

Habtamu, A. 2017. Review Paper On Breeding Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Genotypes For Acidic Soil Tolerance. *International Journal of Advanced Research and Publications* 1(3): 39 – 46.

- Iizumi, T.; Furuya, J.; Shen, Z.; Kim, W.; Okada, M.; Fujimori, S.; Hasegawa, T. and Nishimori, M. 2017. Responses of crop yield growth to global temperature and socioeconomic changes. *Scientific Reports* 7(7800): 1 – 10.
- Ishitani, M, Rao, I, Wenzl, P., Beebe, S. and Tohme, J. 2004. Integration of genomics approach with traditional breeding towards improving abiotic stress adaptation: drought and aluminum toxicity as case studies. *Field Crops Research*, 90:35–45.
- Jiménez, S.; Castro, L.; Yépez, J. y Wittmer, C. 2012. Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador. Serie Avances de Investigación N° 66. Madrid, España. 92 p.
- Johnson, K. and Lenhard, M. 2011. Genetic control of plant organ growth: Tansley review. *New Phytologist* 191: 319–333.
- Kavipriya, R.; Dhanalakshmi, P.; Jayashree, S. and Thangaraju, N. 2011. Seaweed extract as a biostimulant for legume crop, green gram. *Journal of Ecobiotechnology* 3(8): 16-19.
- Lal, N. 2016. Effects of Acid Rain on Plant Growth and Development. *e-Journal of Science and Technology* 11(5): 85 – 108.
- Legesse, H.; Nigussie, R.; Gebeyehu, S.; Bultosa, G. and Mekbib, F. 2013. Response to Soil Acidity of Common Bean Genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) Under Field Conditions at Nedjo, Western Ethiopia. *Science, Technology and Arts Research Journal* 2(3): 03-15.
- Lubobo, A.; Kasongo, E.; Kizungu, R.; Nachigera, G.; Kalonji, A. 2016. Effect of climate change on common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop production: determination of the optimum planting period in midlands and highlands zones of the Democratic Republic of Congo. *Global Journal of Agricultural Research and Reviews* 4(1): 390-399.
- Lunze L., Kimani P.M., Ngatoluwa, R., Rabary B., Rachier G.O., Ugen M.M., Ruganza V., Awad Elkarim E.E. 2007. Bean improvement for low soil fertility in adaptation in Eastern and Central Africa. In: Bationo, A., Waswa, B., Kihara, J. & Kimetu J. (Eds.) *Advances in integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*, pp. 325 – 332. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Machado, N.; Prioli, M.; Gatti, A. and Mendes, V. 2006. Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Sci. Agron.* 28(2): 155 – 164.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2017. Boletín Situacional de Fréjol Tierno y Seco. Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA). Quito, EC. 8 p.
- Mahato, A. 2014. Climate Change and its Impact on Agriculture. *International Journal of Scientific and Research Publications* 4(1): 1 – 6.
- Mena, E.; Leiva, M.; Dilhara, E.; García, L.; Veitía, N.; Bermúdez, I.; Collado, R. y Cárdenas, R. 2015. Efecto del estrés salino en la germinación y el crecimiento temprano de *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales* 36(3): 71-74.
- Medina, G.; Ruiz, J.; Rodríguez, V.; Soria, J.; Díaz, G. y Zarazúa, P. 2016. Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 13: 2465-2474.
- Miransari, M. and Smith, D. 2014. Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany* 99: 110– 121.
- Mohtashami, M.; Naderi, A.; Ghanbari, A.; Alavifazel, M. and Lak, S. 2016. Effect of seed Pre-treatment with growth regulators on seed yield and yield components of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turk J Field Crops* 21(2), 313-317.
- Morales, D.; Dell'Amico, J.; Jerez, E.; Rodríguez, P.; Álvarez, I.; Díaz, Y. y Martín, R. 2017. Efecto del Quitomax® en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sometidas a dos regímenes de riego. I. crecimiento y rendimiento. *Cultivos Tropicales* 38(2): 119-128.
- Nardi, S.; Pizzeghello, D.; Schiavon, M. and Ertani, A. 2016. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based Giproducts and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola* 73(1): 18 – 23.
- Peralta, E.; Murillo, A.; Mazón, N.; Pinzón, J.; Villacrés, E. 2013. Manual Agrícola de fréjol y otras leguminosas. Cultivos, variedades y costos de producción. Publicación Miscelánea # 135. Tercera Edición. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP, Quito, Ecuador. 70 p.
- Pérez, A.; Martínez, E.; Vélez, L. y Cotes, J. 2013. Acumulación y Distribución de Fitomasa en el Asocio de Maíz (*Zea mays* L.) y Fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* 66(1):6865-6880.
- Porch, T.G. y Jahn, M. 2001. Effect of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. *Plant Cell Environ.* 24: 723–731.

- Powell, A. y Lenhard, M. 2012. Control of Organ Size in Plants. *Current Biology* 22 (Special Issue): 360 – 367.
- Quintana, W.; Pinzón, E. y Torres, D. 2016. Evaluación del crecimiento de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Ica Cerinza, bajo estrés salino. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19 (1): 87 – 95.
- Rangel, A.F., Rao, I.M. and Horst, W.J. 2007. Spatial aluminium sensitivity of root apices of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes with contrasting aluminum resistance. *J. Exp. Bot.* 58: 3895-3904.
- Soares, L.; Dourado, D.; Binotto, E.; Teixeira, W.; Rodrigues, M. and Reichardt, K. 2016. Soybean seed treatment with micronutrients, hormones and amino acids on physiological characteristics of plants. *African journal of agricultural Research* 11(35): 3314-3319.
- Subbarao, S.; Hussain, I. and Ganesh, P. 2015. Bio Stimulant Activity of Protein Hydrolysate: Influence on Plant Growth and Yield. *Journal of Plant Science and Research* 2(2): 1 – 6.
- Tuhy, L.; Chowańska, J. and Chojnacka, K. 2013. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth: review. *Chemik* 7(67): 639 – 641.
- Van, M.; Pepe, O.; De Pascale, S.; Silletti, S. and Maggio, A. 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4(5): 1 – 12.
- Yamauchi, Y. 2018. Integrated Chemical Control of Abiotic Stress Tolerance Using Biostimulants. In: *Plant, Abiotic Stress and Responses to Climate Change*, Chapter 7. pp 133 – 143.
- Zlatev, Z.; Lidon, F. and Kaimakanova, M. 2012. Plant physiological responses to UV-B radiation. *Emir. J. Food Agric.* 24 (6): 481-501.