

Artículo original

Influencia de bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento de cultivos de ciclo corto en Manabí, Ecuador

Eduardo Héctor-Ardisana^{1*} 

Antonio Torres-García² 

Oswaldo Fosado-Téllez¹ 

Soraya Peñarrieta-Bravo² 

Jorge Solórzano-Bravo³ 

Vicente Jarre-Mendoza³ 

Fabián Medranda-Vera³ 

José Montoya-Bazán³ 

¹Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

²Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

³Estudiante de la Maestría en Agronomía, mención Producción Agrícola Sostenible, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

*Autor para correspondencia: ehectorardisana@gmail.com

RESUMEN

El modelo agrícola de la Revolución Verde ha conducido a la degradación paulatina de los suelos, lo cual está motivado por los impactos que causa, entre los que destaca el uso indiscriminado de los fertilizantes sintéticos que, si bien incrementan los rendimientos hasta cierto punto, también acidifican el suelo, acumulan sales, provocan estrés hídrico y contaminan las aguas y las cosechas. Los bioestimulantes constituyen una alternativa a estas prácticas, al ser microorganismos o productos que influyen favorablemente sobre las plantas, no sólo por la aportación de nutrientes sino por contener sustancias como proteínas, aminoácidos, ácidos húmicos y fúlvicos, reguladores del crecimiento, y otras moléculas benéficas. Se presentan los resultados preliminares de varias investigaciones sobre el empleo de bioestimulantes orgánicos (bioles, lixiviados de estiércol y de vermicompost, ácidos húmicos, microorganismos eficientes) sobre cuatro especies de ciclo corto: estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni), acelga (*Beta vulgaris* L. subsp. cicla), maní (*Arachis hypogaea* L.) y ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). Se evaluaron variables que

caracterizan el crecimiento y rendimiento de cada una de las especies estudiadas, durante un ciclo de cultivo, en diseños experimentales de bloques completamente aleatorizados. En general, el empleo de alguno de los bioestimulantes ensayados permitió resultados similares o superiores a los que se obtuvo con la fertilización química en las cuatro especies estudiadas. Los resultados alcanzados estimulan el empleo de estos bioestimulantes como sustitutos o complementos de la fertilización química convencional en estas especies, contribuyendo a la sostenibilidad de la producción agrícola sin perjuicio del medio ambiente.

Palabras clave: acelga, ajonjolí, estimulación vegetal, maní, *Stevia*

Recibido: 26/04/2020

Aceptado: 19/10/2020

INTRODUCCIÓN

En Sudamérica, la producción agrícola es diversa y compleja, resultando de las tradiciones de cada país, y se obtiene a costa de una profunda huella ecológica, como consecuencia de la necesidad de los países del subcontinente de mantenerse como productores y exportadores de rubros agrícolas que tienen un papel importante en sus balanzas comerciales ⁽¹⁾.

Ecuador no se aparta de la tendencia a explotar la tierra de manera intensiva e indiscriminada; entre los insumos que se utilizan para lograr rendimientos adecuados se encuentran los fertilizantes nitrogenados, fosfóricos y potásicos, de los cuales el país aplicaba en el año 2014 una media de 124,03 kg ha⁻¹, cifra ligeramente inferior al promedio del subcontinente que es de 135,46 kg ha⁻¹ ⁽²⁾ pero sin dudas muy elevada. Además, la mayoría de los agricultores aplica los fertilizantes sin considerar las cantidades de nutrientes presentes en los suelos ni las necesidades de los cultivos, lo que lleva a un uso desmedido que tiene consecuencias ambientales negativas.

Una de las alternativas orgánicas para estimular los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas es el empleo de bioestimulantes, que se definen como sustancias o microorganismos que aplicados a las plantas, incrementan la absorción y asimilación de nutrientes, su tolerancia al estrés o mejoran sus características agronómicas, independientemente del contenido de nutrientes que aporten ⁽³⁾. Entre los bioestimulantes más usados se encuentran el vermicompost, sus lixiviados y los microorganismos eficientes ⁽⁴⁻⁷⁾.

La estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni), la acelga (*Beta vulgaris* L. subsp. cicla) y el ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) son cultivos de ciclo corto que no se encuentran entre los

preponderantes en la agricultura ecuatoriana. El maní (*Arachis hypogaea* L.), también de ciclo corto, aunque ocupa áreas agrícolas bastante superiores, tampoco es un rubro de alto impacto en el sistema agrícola del país. Sin embargo, el aprecio de los consumidores por estas especies se está incrementando: la estevia por su uso edulcorante y medicinal ⁽⁸⁾, la acelga por sus propiedades antioxidantes y anticancerígenas ⁽⁹⁾, el maní por su alto contenido de aceites, proteínas y carbohidratos ⁽¹⁰⁾ y el ajonjolí por el poder anticancerígeno del sesamol que contienen sus semillas ⁽¹¹⁾.

Ante este incremento en la demanda y consiguientemente en el interés de los productores se hace necesario proponer alternativas que permitan obtener altos rendimientos sin que se cree una dependencia de los fertilizantes químicos sintéticos, lo que afectaría la sostenibilidad económica y ecológica de estos agroecosistemas.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de varios bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento de estas especies, en comparación con productos fertilizantes de origen químico-sintético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de los experimentos

Los ensayos en estevia y acelga se desarrollaron en el campus experimental “La Teodomira” de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la parroquia Lodana, cantón Santa Ana, a 01°14’ LS y 80°23’ LW con una altitud de 60 m s.n.m, entre junio y agosto del año 2018, bajo condiciones de cultivo semiprotegido. El estudio en maní se hizo en la finca “Don Fabián”, ubicada en la vía Chone-Calcuta, a 0°50’ LS y 80°15’ LW con una altitud de 50 msnm, en el período comprendido entre agosto y diciembre de 2017. El estudio con el ajonjolí se efectuó en la finca de la familia Montoya Bazán, situada en la vía Babahoyo-parroquia Febres Cordero, a 02°09’ LS y 79°53’ LW con una altitud de 20 m s.n.m, entre junio y septiembre de 2018. Las tres primeras localidades pertenecen a la provincia de Manabí y la última a la provincia de Guayas, Ecuador.

Material vegetal

Todas las semillas utilizadas fueron de origen certificado. En la estevia se trabajó con la variedad Morita 2; en acelga se utilizó la variedad Fordhook Giant; en el maní se empleó la variedad “Criolla Caramelo” y en ajonjolí la variedad “Portoviejo 1”. Las semillas de estevia, acelga y ajonjolí se sembraron en bandejas germinadoras con alvéolos de 5 x 5 cm (una semilla por alvéolo) con suelo y residuos vegetales descompuestos, en

proporción 1:3 (v/v), y una vez obtenidas las plantas con adecuado vigor se trasladaron al lugar del experimento. El maní se sembró directamente colocando dos semillas por sitio para garantizar la germinación.

Bioestimulantes

Todos los bioestimulantes empleados en esta investigación son productos de composición orgánica, concebidos para proporcionar a los productores alternativas sostenibles a la fertilización química. Dos de ellos (Bioactivado y Humisil®) son formulaciones comerciales a base de microorganismos o ácidos húmicos; los restantes (lixiviado de estiércol bovino, lixiviado de vermicompost de estiércol bovino, lixiviado de gallinaza, biol artesanal, microorganismos eficientes) son productos de fabricación sencilla a partir de restos de cosechas o excremento animal, que pueden ser elaborados por los productores en sus propias fincas.

El lixiviado de estiércol bovino (LEB) y el lixiviado de vermicompost de estiércol bovino (LVEB) fueron suministrados por el Ministerio de la Agricultura, y se producen en el sitio la Cañita de la Parroquia Charapotó del cantón Sucre, provincia de Manabí, Ecuador. La preparación del lixiviado de gallinaza (LG) se realizó en un tanque de 100 L al que se le agregaron 25 kg de gallinaza y 50 litros de agua. La mezcla se dejó fermentar por 45 días y posteriormente se filtró el lixiviado a través de una tela fina. Los lixiviados se aplicaron con bomba manual mediante aspersión foliar, y se realizaron cuatro aplicaciones cada 10 días después del trasplante (DDT) o siembra del cultivo, con un volumen de producto equivalente a 1000 L ha⁻¹.

El producto Bioactivado fue suministrado por Bbo Agro, S. A. de Guayaquil, Ecuador, y es un biopreparado líquido a base de *Saccharomyces* sp., *Bacillus* sp., *Lactobacillus* sp. y actinomicetos. El Biol artesanal se preparó con productos orgánicos y residuos de cosecha en las siguientes proporciones: 18 kg de estiércol bovino, 13,5 kg de residuos de cosecha de alfalfa y arvejas, 0,9 kg de levadura, 9 kg de melaza, 13,5 kg de cascarilla de arroz y 4 L de suero de leche bovina. Todos los componentes se homogeneizaron en un tanque plástico hasta 200 L con agua. Posteriormente se tapó el tanque y se dejó fermentar la mezcla por 45 días a la sombra, a temperatura ambiente. Al cabo de este tiempo el contenido del tanque se filtró a través de una tela fina. Ambos productos se aplicaron por aspersión con una bomba manual sobre el suelo, junto a la planta; se hicieron tres aplicaciones cada 10 DDT, con un volumen de producto equivalente a 1000 L ha⁻¹.

El Humisil® es producido por Greentech® en Guayaquil, Ecuador, y contiene ácidos húmicos 18 %, N-P-K 4,02 % y sílica activa 1,5 %. Se realizaron cinco aplicaciones

foliares por aspersión con una bomba manual, cada 15 DDT, con un volumen de producto equivalente a 1000 L ha^{-1} .

Los microorganismos eficientes (ME) se produjeron en la Estación Experimental de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, cultivando *Lactobacillus plantarum* (10^4 UFC L^{-1}), *Lactobacillus casei* (10^4 UFC L^{-1}), *Rhodopseudomonas palustris* (10^3 UFCL^{-1}), *Saccharomyces cerevisiae* (10^3 UFC L^{-1}), melaza 10 % y leche pasteurizada 15 %. Después de ajustado el pH a 3,5 la mezcla se dejó fermentar a temperatura ambiente en condiciones anaeróbicas por 15 días, y a continuación se proporcionó aire permanentemente mediante bombeo por 15 días. Finalmente se filtró la mezcla a través de una tela fina. Se realizaron 5 aplicaciones cada 10 DDT. En cada una de ellas se suministraron 150 ml del preparado de microorganismos eficientes al suelo, alrededor de la planta.

Fertilizantes químicos

La fertilización con N-P-K en cada cultivo se realizó por aplicación al suelo, con las formulaciones y dosis que utilizan los productores en sus fincas. El calcio se aplicó por aspersión foliar, según lo recomendado por varios autores ^(12,13).

Diseño experimental y variables evaluadas

En los experimentos realizados en las cuatro especies se utilizaron diseños de bloques completos al azar.

En el experimento con *Stevia* se incluyeron cuatro repeticiones, cada una con 24 plantas, de las cuales se evaluaron las 6 plantas centrales de la parcela. Los tratamientos experimentales consistieron en dos concentraciones de calcio (2 y 5 g L^{-1}) aplicado foliar ($10 \text{ mL planta}^{-1}$, 5 aplicaciones cada 15 DDT), dos diluciones de Humisil® ($1/10$ y $1/20 \text{ v/v}$), fertilización química con NPK (18-18-18; 20 g planta^{-1} a los 15 DDT) y un tratamiento sin fertilizantes o bioestimulantes. A los 45 DDT se determinaron la altura de la planta (cm), el diámetro del tallo (cm) y la cantidad de hojas por planta. La cosecha de hojas y tallos se realizó a los 60, 75 y 90 días, y sobre la base de la masa seca total de estos se estimó el rendimiento (tha^{-1}) de cada tratamiento.

En el estudio realizado en acelga se emplearon tres repeticiones. Cada repetición incluyó 24 plantas, de las cuales se evaluaron las 6 plantas centrales de la parcela. Los tratamientos experimentales fueron: fertilización química con NPK (15-15-15; 20 g planta^{-1} , de ellos 10 g como fertilización de fondo y 10 g a los 15 DDT), dos diluciones de lixiviado de vermicompost de estiércol bovino ($1/10$ y $1/20 \text{ v/v}$) y dos de

microorganismos eficientes (1/10 y 1/20 v/v). A los 60 días se determinaron la longitud y el ancho de la hoja (cm), y la masa seca (g) y el volumen de la raíz (cm³). Se realizaron dos cosechas a los 38 y 60 días, y con la masa fresca total (g) de la biomasa de ambas se estimó el rendimiento (t ha⁻¹) de cada tratamiento.

El estudio realizado en maní incluyó cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en tres diluciones de lixiviado de estiércol bovino (1/10, 2/10 y 3/10 v/v), tres de lixiviado de gallinaza (1/10, 2/10 y 3/10 v/v), tres de lixiviado de vermicompost de estiércol bovino (1/10, 2/10 y 3/10 v/v), fertilización química con NPK (100-25-50; 5 g planta⁻¹, como fertilización de fondo) y un tratamiento sin fertilizantes ni bioestimulantes. A los 60 días se determinó la altura (cm) de tres plantas tomadas al azar en el centro de la parcela. En el momento de la cosecha (120 días) se contó la cantidad de nódulos presentes en las mismas plantas; se tomaron también 100 vainas al azar en cada parcela a las que se determinó la masa seca (g) para estimar el rendimiento de vainas secas (t ha⁻¹). A los granos de estas vainas se les determinó la masa seca (g) para estimar el rendimiento de granos secos (t ha⁻¹).

En el experimento con el cultivo del ajonjolí se establecieron tres repeticiones. Los tratamientos fueron: Bioactivado (1/20 v/v), biol artesanal (1/20 v/v), fertilización química con NPK (50-25-50; 125 g planta⁻¹ a los 20 y 45 DDT) y un tratamiento sin fertilizantes ni bioestimulantes. En 20 plantas seleccionadas al azar en cada unidad experimental se midieron las siguientes variables: altura de la planta (cm) a los 110 DDT; altura de carga la altura a la que se encuentra la cápsula más baja (cm) a los 60 DDT; cantidad de cápsulas por planta a los 130 DDT; en ese último momento se determinó la masa seca (g) de las semillas de estas cápsulas para estimar el rendimiento de cada tratamiento (k g ha⁻¹).

Análisis estadístico

Después de comprobadas la normalidad y homocedasticidad de los datos (con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y de Levene, respectivamente) los datos de las variables se procesaron con un análisis de varianza simple. Las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Se utilizó el software IBM SPSS Statistic v.21.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 1-4 se presentan los resultados de la influencia de los diferentes productos aplicados en cada una de las especies sobre las variables del crecimiento y el rendimiento.

Tabla 1. Efecto de los productos aplicados sobre el crecimiento y el rendimiento en estevia
(*Stevia rebaudiana* Bertoni)

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Cantidad de hojas	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Calcio 2 g L ⁻¹	45,04 ± 0,25ab	8,40 ± 0,56	735,57 ± 0,53ab	0,50 ± 0,17 a
Calcio 5 g L ⁻¹	42,32 ± 0,32 b	8,01 ± 0,52	667,30 ± 0,51 b	0,38 ± 0,11 c
Humisil® 1/10 (v/v)	45,86 ± 0,25 a	7,84 ± 0,50	746,23 ± 0,57 a	0,48 ± 0,16 a
Humisil® 1/20 (v/v)	42,09 ± 0,22 b	7,51 ± 0,50	718,80 ± 0,56ab	0,39 ± 0,11bc
NPK	42,26 ± 0,22 b	7,32 ± 0,50	782,88 ± 0,59 a	0,46 ± 0,15ab
Suelo sin aplicación	40,31 ± 0,20 c	7,12 ± 0,47	659,20 ± 0,50 b	0,39 ± 0,11bc

Letras desiguales indican diferencias significativas para la prueba de Tukey con p<0,05

En estevia, no se observaron diferencias significativas en la variable diámetro del tallo. En cambio, se encontraron diferencias estadísticas en las restantes variables, destacándose en la altura de la planta el Humisil® (1/10 v/v) y el calcio (2 g L⁻¹); en la cantidad de hojas, los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento fertilizado con NPK, con las dos diluciones de Humisil® y con el calcio (2 g L⁻¹). Es destacable que en estas tres variables los tratamientos con Humisil® (1/10 v/v) y calcio (2 g L⁻¹) siempre produjeron resultados estadísticamente similares o superiores a los obtenidos con NPK. En el rendimiento estuvieron a un mismo nivel el calcio (2 g L⁻¹), el Humisil® (1/10 v/v) y el tratamiento fertilizado, aunque este último no se diferenció del control sin aplicación.

En esta especie, los estudios sobre el empleo de bioestimulantes se han concentrado en la inoculación de las plantas con rizobacterias promotoras del crecimiento y hongos micorrícicos arbusculares o combinaciones de estos ^(14,15), y en menor medida se han combinado microorganismos y productos orgánicos como el estiércol y el vermicompost ⁽¹⁶⁾. Los resultados obtenidos en esas investigaciones, superiores en todos los casos a los alcanzados con fertilizantes químicos, han sido atribuidos a una mejora en la absorción de nutrientes por las plantas.

Los rendimientos que se obtienen con el empleo de productos bioestimulantes como el Humisil® por lo general se atribuyen no a la concentración de nutrientes presentes en ellos, sino al aporte de ácidos húmicos. Estas sustancias activan el metabolismo vegetal, incidiendo favorablemente en la absorción y asimilación de nutrientes, la absorción de agua, e incrementando la tolerancia a distintos tipos de estrés ^(3,4,6). En cuanto al calcio, este elemento juega un papel importante como mensajero en las respuestas vegetales a las señales ambientales y hormonales ⁽¹⁷⁾. En estevia, en particular, las deficiencias de calcio provocan necrosis en los primordios foliares, reducción en el contenido de esteviósidos, ramas quebradizas y raíces cortas y delgadas ⁽¹⁸⁾. Estos efectos pueden explicar los

resultados obtenidos en las variables altura de la planta y cantidad de hojas, componentes determinantes del rendimiento en esta especie.

Tabla 2. Efecto de los productos aplicados sobre el crecimiento y el rendimiento en acelga (*Beta vulgaris* L. subsp cicla)

Tratamientos	Longitud de la hoja (cm)	Ancho de la hoja (cm)	Masa seca de la raíz (g)	Volumen de la raíz (cm ³)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
NPK	33,26 ± 3,68 c	17,71 ± 1,81 c	2,64 ± 0,48 c	22,60 ± 3,62 c	35,20 ± 0,92 b
LVEB 1/10 (v/v)	34,76 ± 3,15bc	18,16 ± 1,80bc	3,38 ± 0,93 b	26,53 ± 8,21bc	45,90 ± 1,09 a
LVEB 1/20 (v/v)	40,70 ± 5,94 a	19,47 ± 1,75ab	3,43 ± 0,88 b	28,26 ± 5,82ab	40,01 ± 1,27 a
ME 1/10 (v/v)	37,40 ± 3,77ab	18,89 ± 1,30bc	4,21 ± 1,29 a	30,33 ± 8,44ab	33,71 ± 1,62 b
ME 1/20 (v/v)	38,20 ± 4,76 a	20,61 ± 2,45 a	3,93 ± 0,63ab	32,66 ± 3,71 a	39,07 ± 1,02ab

LVEB: lixiviado de vermicompost de estiércol bovino; ME: microorganismos eficientes. Letras desiguales indican diferencias significativas para la prueba de Tukey con p<0,05

En acelga (Tabla 2), la aplicación de bioestimulantes produjo resultados que igualaron o superaron a la fertilización con NPK en todas las variables relacionadas con el crecimiento vegetativo. En cuanto al rendimiento, las dos diluciones de lixiviados de vermicompost de estiércol bovino fueron significativamente superiores a la fertilización con NPK; el tratamiento con microorganismos eficientes 1/20 (v/v) no difirió de los tratamientos con lixiviados ni del tratamiento fertilizado con NPK; a su vez, la fertilización con NPK no mostró diferencias significativas con la dilución 1/10 (v/v) de microorganismos eficientes. Es decir, la aplicación de cualquiera de los dos bioestimulantes siempre condujo a rendimientos iguales o superiores a los obtenidos con NPK. Los bioestimulantes más usados en acelga han sido: el Kelpak, rico en auxinas y citoquininas, producido a partir del alga marina *Ecklonia maxima*, y que incrementa la masa seca de hojas y raíces ⁽¹⁹⁾, el VIUSID, con alto contenido de diversos aminoácidos, que eleva los rendimientos en un 29,50 % ⁽²⁰⁾, y los microorganismos eficientes, que conducen a incrementos en el contenido de clorofila y a mejoras en el suelo, pero no a aumentos significativos de la biomasa ⁽²¹⁾.

Tabla 3. Efecto de los productos aplicados sobre el crecimiento y el rendimiento en maní
 (*Arachis hypogaea* L.)

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	Nódulos por planta	Rendimiento vainas secas (t ha ⁻¹)	Rendimiento granos secos (t ha ⁻¹)
LEB 1/10 (v/v)	35,6 ± 3,84 c	75,7 ± 5,32 b	6,72 ± 0,23 b	3,99 ± 1,20 c
LEB 2/10 (v/v)	38,5 ± 2,91bc	82,3 ± 4,81 b	6,72 ± 0,37 b	4,27 ± 0,99bc
LEB 3/10 (v/v)	39,6 ± 3,64 b	84,3 ± 3,62 b	7,07 ± 0,45 ab	4,90 ± 1,11bc
LG 1/10 (v/v)	37,1 ± 3,40 c	82,2 ± 5,00 b	6,86 ± 0,61 b	5,04 ± 1,17 b
LG 2/10 (v/v)	41,4 ± 2,83 b	90,2 ± 5,23 ab	7,07 ± 0,39 ab	5,04 ± 0,94 b
LG 3/10 (v/v)	43,0 ± 3,67 a	92,1 ± 4,91 a	7,70 ± 0,33 a	5,32 ± 0,89ab
LVEB 1/10 (v/v)	39,1 ± 3,53 b	91,5 ± 4,97 a	6,72 ± 0,27 b	5,11 ± 1,02 b
LVEB 2/10 (v/v)	45,8 ± 4,01 a	94,0 ± 4,60 a	7,42 ± 0,39 ab	5,88 ± 1,16 a
LVEB 3/10 (v/v)	53,6 ± 3,82 a	95,0 ± 5,33 a	9,17 ± 0,40 a	6,86 ± 1,12 a
NPK	42,6 ± 3,65ab	86,2 ± 5,40ab	6,93 ± 0,22 ab	4,90 ± 1,04bc
Suelo sin aplicación	34,6 ± 3,21 c	74,0 ± 4,38 b	5,60 ± 0,39 c	3,78 ± 1,21 c

LEB: lixiviados de estiércol bovino; LG: lixiviados de gallinaza; LVEB: lixiviados de vermicompost de estiércol bovino. Letras desiguales indican diferencias significativas para la prueba de Tukey con $p < 0,05$

Varios bioestimulantes (lixiviado de gallinaza 3/10 v/v, y lixiviados de vermicompost de estiércol bovino 2/10 y 3/10 v/v) alcanzaron valores altos en las variables altura de la planta, nódulos por planta y rendimiento de vainas secas obtenidos en maní (Tabla 3), similares a la fertilización con NPK. En particular, con el lixiviado de gallinaza 3/10 (v/v) y con las tres diluciones de lixiviado de vermicompost de estiércol bovino se lograron niveles de nodulación significativamente superiores a los del suelo al que no se aplicó ningún producto, aunque es evidente que en el suelo existen poblaciones de rizobios compatibles con el cultivo. Otros autores han encontrado incrementos similares en este proceso simbiótico en presencia de vermicompost ^(22–24).

El rendimiento de granos secos con NPK fue superado significativamente por el lixiviado de vermicompost de estiércol bovino en las diluciones 2/10 y 3/10 (v/v). En esta especie, la aplicación del bioestimulante Stimulate[®], rico en auxinas, citoquininas y giberelinas, favorece la producción de semillas vigorosas y sanas, solo o combinado con elementos químicos ^(25,26). El bioestimulante Nutrifér[®] 202, aunque incluye varios tipos de micronutrientes de origen inorgánico, contiene también extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) que aportan aminoácidos, vitaminas y fitohormonas, y actúa sobre el metabolismo general de las plantas de maní favoreciendo su crecimiento, desarrollo y nodulación, sobre todo en combinación con *Bradyrhizobium* sp. ⁽²⁷⁾. El empleo de vermicompost ha causado incrementos en los rendimientos en esta especie ^(28,29) por lo que se puede esperar efectos similares en sus lixiviados, como los empleados en este experimento.

Tabla 4. Efecto de los productos aplicados sobre el crecimiento y el rendimiento en ajonjolí
 (*Sesamum indicum* L.)

Tratamientos	Altura de la planta (m)	Altura de carga (cm)	Cantidad de cápsulas por planta	Rendimiento (k g ha ⁻¹)
Bioactivado	2,56 ± 0,18	1,26 ± 0,45	86,58 ± 2,81c	687,0 ± 6,23c
Biol artesanal	2,66 ± 0,23	1,30 ± 0,40	103,55 ± 3,63b	796,0 ± 7,43b
NPK	2,59 ± 0,31	1,30 ± 0,46	119,68 ± 3,44a	1011,7 ± 6,81a
Suelo sin aplicación	2,52 ± 0,60	1,23 ± 0,39	43,73 ± 4,01d	617,0 ± 5,98d

Letras desiguales indican diferencias significativas para la prueba de Tukey con $p < 0,05$

No se observaron diferencias en la altura de las plantas ni en la altura de carga del ajonjolí para los tratamientos experimentales (Tabla 4); en la cantidad de cápsulas por planta y el rendimiento, la fertilización con NPK superó significativamente a los restantes tratamientos. En esta especie se destaca el uso de algas marinas (*Kappaphycus* y *Gracilaria*) o extractos de estas, que contienen aminoácidos, fitohormonas y otros compuestos orgánicos y que han incrementado el rendimiento^(30,31). En otro estudio la aplicación foliar de extractos de algas marinas y de hojas de plantas terrestres ejerció efectos similares a los causados por el empleo de reguladores del crecimiento sintéticos⁽³²⁾. El hecho de no haber encontrado efectos estimulantes en la presente investigación sugiere la necesidad de ampliar el espectro de bioestimulantes y sus dosis, para buscar una alternativa sostenible de producción. No obstante, es destacable que con el biol artesanal se alcanzó el 78,67 % del rendimiento obtenido con NPK, y se superó el alcanzado en el suelo sin aplicación en un 22,48 %. Esto avala la posibilidad de su empleo como alternativa amigable con el ambiente, y estimula la realización de investigaciones con otras dosis de este producto.

En la actualidad no existen estudios detallados sobre los mecanismos fisiológicos de acción de la gran cantidad de sustancias naturales, microorganismos y productos más o menos elaborados que se consideran bioestimulantes. Ello se debe en gran medida a los altos costos de los análisis de la composición de los bioestimulantes, que conspiran contra la rentabilidad de su uso, sobre todo si se tiene en cuenta el enfoque agroecológico y sostenible de su empleo (que los campesinos produzcan sus propios bioestimulantes). Se conoce, en cambio, que los bioestimulantes favorecen los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas a través del mejoramiento de la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, el incremento de la absorción y asimilación de elementos minerales⁽³³⁾, y el aumento de la tolerancia de los vegetales al estrés⁽³⁴⁾, todo lo cual conduce a la obtención de mayores rendimientos. Los efectos observados en esta investigación concuerdan con lo esperado, de acuerdo con la definición de bioestimulantes que ofrecen otros autores^(3,35).

CONCLUSIÓN

En general, los bioestimulantes ensayados en el presente estudio producen resultados alentadores, pues logran igualar o superar a los obtenidos con la fertilización química sintética en las especies en que se emplearon.

RECOMENDACIONES

- Sería conveniente realizar estudios a mayor escala que permitan corroborar estos resultados, con vistas a su introducción futura en la producción agrícola como alternativa sostenible, como sustitutos totales o parciales de la fertilización con productos químicos sintéticos.
- También sería útil la investigación de los mecanismos fisiológicos de acción de estos bioestimulantes en las especies ensayadas, como vía para la futura formulación de otros productos de este tipo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Héctor E, Millet B, Torres A, Fosado O. Agricultura en Sudamérica: la huella ecológica y el futuro de la producción agrícola. *Revista Chakiñan*. 2018;5:90-101.
2. FAO. Anuario Estadístico: La alimentación y la Agricultura en América Latina y el Caribe [Internet]. 2014 [cited 04/11/2020]. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i3592s.pdf>
3. Du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 2015;196:3–14.
4. Canellas LP, Olivares FL, Aguiar NO, Jones DL, Nebbioso A, Mazzei P, et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia horticulturae*. 2015;196:15–27.
5. Pazos-Rojas LA, Marín-Cevada V, García YEM, Baez A, Villalobos-López MA, Pérez-Santos M, et al. Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 2016;3(7):72–85.
6. Torres A, Héctor EF, Hernández G, Cué JL, Fosado OA. Efectos del BIOSTAN[®] en los índices de crecimiento y los pigmentos fotosintéticos de *Phaseolus vulgaris* L. *Revista La Técnica*. 2017;18:25-35.
7. Cabrera CA, Cabrera RP, Morán JJ, Terán JS, Molina HM, Meza GA *et al*. Evaluación de dos abonos orgánicos líquidos en la producción del cultivo de

- pitahaya (*Hylocereus undatus*) en el litoral ecuatoriano. Revista La Técnica. 2018;20:29-39.
8. Martínez Cruz M. Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni. Una revisión. Cultivos tropicales. 2015;36:5–15.
 9. Topalović A, Knežević M, Trifunović S, Novaković M, Pešić M, Đurović D. Effects of soil properties and fertilization on quality and biological activity of Swiss chard. European Journal of Horticultural Science. 2018;83(6):374–81.
 10. Stalker T, Wilson RF. Peanuts: genetics, processing, and utilization. Elsevier; 2015. 498 p.
 11. Majdalawieh AF, Mansour ZR. Sesamol, a major lignan in sesame seeds *Sesamum indicum*: Anti-cancer properties and mechanisms of action. European journal of pharmacology. 2019;855:75–89.
 12. Bakeer SM. Effect of ammonium nitrate fertilizer and calcium chloride foliar spray on fruit cracking and sunburn of Manfalouty pomegranate trees. Scientia Horticulturae. 2016;209:300–8.
 13. Solhjoo S, Gharaghani A, Fallahi E. Calcium and potassium foliar sprays affect fruit skin color, quality attributes, and mineral nutrient concentrations of ‘Red Delicious’ apples. International Journal of Fruit Science. 2017;17(4):358–73.
 14. Vafadar F, Amooaghaie R, Otrushy M. Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK, and chlorophyll content of *Stevia rebaudiana*. Journal of Plant Interactions. 2014;9(1):128–36.
 15. Tavarini S, Passera B, Martini A, Avio L, Sbrana C, Giovannetti M, et al. Plant growth, steviol glycosides and nutrient uptake as affected by arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorous fertilization in *Stevia rebaudiana* Bert. Industrial Crops and Products. 2018;111:899–907.
 16. Zare Hoseini R, Mohammadi E, Kalatejari S. Effect of bio-fertilizer on growth, development and nutrient content (leaf and soil) of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Journal of Crop Protection. 2015;4(20):691–704.
 17. de Jesús Jarma A, Combatt EM, Cleves JA. Aspectos nutricionales y metabolismo de *Stevia rebaudiana* (Bertoni). Una revisión. Agronomía Colombiana. 2010;38(2):199–208.
 18. Utumi MM, Monnerat PH, Pereira PRG, Fontes PCR, Godinho V de PC. Deficiência de macronutrientes em estévia: sintomas visuais e efeitos no crescimento, composição química e produção de esteviosídeo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 1999;34(6):1038–43.

19. Arthur GD, Aremu AO, Moyo M, Stirk WA, Van Staden J. Growth-promoting effects of a seaweed concentrate at various pH and water hardness conditions. *South African Journal of Science*. 2013;109(11–12):1–6.
20. Peña K, Rodríguez JC, Olivera D, Melendrez JF, Rodríguez L, García R, et al. Effects of a growth promoter on different vegetable crops. *International J. of Development Res*. 2017;7(2):11737–43.
21. Mouhamad RS, Fadhel AS, Yousir SA, Razaq IB, Iqbal M, Ayub S, et al. Impact of effective microorganisms actuate (EMa) on development of Barley, Corn and Chard plants. *Curr Sci Perspect*. 2017;3(1):60–6.
22. Bekele G, Dechassa N, Tana T, Sharma JJ. Effects of nitrogen, phosphorus and vermicompost fertilizers on productivity of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Babile, Eastern Ethiopia. *Agronomy Research*. 2019;17(4):1532-1546.
23. Soliman FA. Effect of Organic Nutritional Supplement on Growth, Nodulation and Yield of Peanut Cultivated Under Different Fertilization Systems. *Journal of Plant Production*. 2017;8(11):1205–13.
24. Sharma RK, Sharma SK, Dangi NL. Influence of different organic nutrient sources on productivity and profitability of groundnut *Arachis hypogaea* L.) in southern Rajasthan, India. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2016;50(6):623–6.
25. Melo LD, Gonçalves EP, Ralph LN, Viana JS, Silva SC. Physiological and physical quality of seeds from peanut seeds and plants under the influence of fertilizer and biostimulant. *American Journal of Plant Sciences*. 2015;6(09):1594–606.
26. Melo LDFA, Viana JS, Gonçalves EP, Melo Junior, JLA, da Silva AC, Souto, PC. Peanut seed yield under influence of fertilizer and biostimulant. *Australian Journal of Crop Science*. 2018;12(07):1169-1176.
27. Furlan A, Bianucci E, Sequeira M, Álvarez L, Peralta JM, Valente C, et al. Combined Application of Microbial and Non-Microbial Biostimulants to Improve Growth of Peanut Plants Exposed to Abiotic Stresses. In: *Microbial Probiotics for Agricultural Systems*. Springer; 2019. p. 239–56.
28. Kumar DS, Kumar PS, Kumar VU, Anbuganapathi G. Influence of biofertilizer mixed flower waste vermicompost on the growth, yield and quality of groundnut *Arachis hypogaea*. *World Applied Sciences Journal*. 2014;31(10):1715–21.
29. Mathivanan S, Chidambaram Al A SP, Bakiyaraj R. Effect of vermicompost on growth and yield of groundnut *Arachis hypogaea* L.). *Int. J. Environ. Biol*. 2012;2(1):7–11.

30. Pramanick B, Brahmachari K, Ghosh A. Efficacy of Kappaphycus and Gracilaria sap on growth and yield improvement of sesame in new alluvial soil. *Journal of Crop and Weed*. 2014;10(1):77–81.
31. Shankar T, Malik GC, Banerjee M, Ghosh A. Effect of sea weed extracts on the growth, yield attribute and nutrient uptake of sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. 2015;6(3):420–3.
32. Amin MA. Comparative studies on growth, metabolism and yield of sesame plant by using seaweed, plant extracts and some growth regulators. *Al-Azhar Bulletin of Science*. 2018;29(1):19–28.
33. De Pascale S, Roupheal Y, Colla G. Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *Eur. J. Hortic. Sci*. 2017;82(6):277–85.
34. Drobek M, Frąc M, Cybulska J. Plant biostimulants: importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress—a review. *Agronomy*. 2019;9(6):335.
35. Yakhin OI, Lubyantsov AA, Yakhin IA, Brown PH. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*. 2017;7:2049.