

**INFLUENCIA DE BIOESTIMULANTES SOBRE CARACTERÍSTICAS
AGRONÓMICAS DE LA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)**

GUIDO RONALDO SAMUDIO CARDOZO

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de **Magíster Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial**. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Dirección de Postgrado
San Lorenzo, Paraguay
2020

**INFLUENCIA DE BIOESTIMULANTES SOBRE CARACTERÍSTICAS
AGRONÓMICAS DE LA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: BIODINÁMICA DE SUELO

GUIDO RONALDO SAMUDIO CARDOZO

Comité Asesor de Tesis

Orientadora: Prof. Ing. Agr. *MSc.* Alba Liz González

Co – Orientadores: Prof. Ing. Agr. *PhD.* Héctor Javier Causarano Medina
Prof. Ing. Agr. *MSc.* María del Pilar Galeano

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de ***Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial***. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Dirección de Postgrado

San Lorenzo, Paraguay

2020

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Dirección de Postgrado

**INFLUENCIA DE BIOESTIMULANTES SOBRE CARACTERÍSTICAS
AGRONÓMICAS DE LA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)**

Esta tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de ***Magister Scientiae en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial***. Programa de postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias/UNA.

Autor: Guido Ronaldo Samudio Cardozo

Miembros del comité Asesor de Tesis

Prof. Ing. Agr. *MSc.* Alba Liz González

Prof. Ing. Agr. *PhD.* Héctor Javier Causarano Medina

Prof. Ing. Agr. *MSc.* María del Pilar Galeano

San Lorenzo, Paraguay

2020

DEDICATORIA
A mis queridos padres Felipe y Marina,
quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos

AGRADECIMIENTOS

A mi padre celestial, por acompañarme siempre en los momentos más difíciles, darme fuerzas para afrontar los problemas y levantarme de los continuos tropiezos.

A mis padres Felipe Samudio y Marina Cardozo, agradecimientos especiales, por todo el cariño, incentivo, paciencia, confianza y por haberme apoyado incondicionalmente durante toda mi vida.

A mis hermanos Luis, Cristhian, Fernando y Juan por todo el apoyo brindado.

A la Prof. Alba Liz González, por sus apreciadas orientaciones en la realización de mi trabajo de investigación, por su tiempo, entrega, paciencia, por los consejos, y por todo el apoyo brindado.

Al Prof. Héctor Causarano, por brindarme su tiempo y predisposición de siempre, por las orientaciones y por gestionar los insumos necesarios para la investigación.

A la Prof. María del Pilar Galeano, por las oportunas sugerencias, predisposición, enseñanzas y apoyo.

Al Prof. Carlos Leguizamón, por su gran labor en la Coordinación del Programa de Maestría y por las enseñanzas recibidas.

A mis compañeros de la Maestría y en especial a Alder Duarte, Eugenio González y Ana Correa.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme la beca que me permitió culminar con éxito mis estudios.

Al Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier, por brindarme los insumos, infraestructura y espacio necesario para la realización de mi tesis, como también a los funcionarios por su ayuda en el trabajo de campo.

A todos los compañeros, amigos, funcionarios y profesores del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial por los favores, enseñanzas y por la amistad.

En definitiva, a todas las personas que me han ayudado y animado para que este trabajo llegará a su fin.

INFLUENCIA DE BIOESTIMULANTES SOBRE CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)

Autor: Guido Ronaldo Samudio Cardozo

Orientadora: Prof. Ing. Agr. MSc. Alba Liz González

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. PhD. Héctor Javier Causarano Medina

Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. MSc. María Del Pilar Galeano Samaniego

RESUMEN

La utilización de bioestimulantes puede promover un aumento en la productividad de los cultivos mediante la mejora en la absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés abiótico y mejora de las características agronómicas del cultivo. El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia de bioestimulantes en algunos parámetros de crecimiento y producción de soja. Dos experimentos se realizaron en el Distrito de Minga Guazú, Dpto. de Alto Paraná, en la zafra 2018/2019. Un experimento a campo fue realizado en un suelo clasificado como Rhodic Kandiodox, bajo el sistema de siembra directa y un experimento bajo invernadero. El diseño experimental fue el de bloques completos al azar. En campo, los tratamientos consistieron en un bioestimulante de aplicación en semillas (BioTS), bioestimulante de aplicación foliar en estado vegetativo (BioV) y reproductivo (BioR) y las combinaciones de estas BioTS + BioV, BioV + BioR, BioTS + BioR, BioTS + BioV + BioR y un testigo sin aplicación de bioestimulantes, totalizando ocho tratamientos con cuatro repeticiones. En el invernadero, los tratamientos fueron: BioTS, BioV, BioTS + BioV y un testigo sin aplicación de bioestimulantes, totalizando cuatro tratamientos con cinco repeticiones. Las variables evaluadas a campo fueron NDVI, índice de clorofila, masa seca aérea, altura de plantas, número de vainas por planta, granos por vaina, rendimiento y peso de mil granos. En el invernadero fue evaluado el índice de clorofila, masa seca aérea y radicular; número de nudos, vainas y granos por planta; masa seca y número de nódulos por planta. A campo, los bioestimulantes influyeron en el NDVI, altura de plantas, número de vainas por planta y rendimiento de granos, obteniéndose incrementos de hasta el 3,8; 8,6; 21,3; 12,9 %, respectivamente, en comparación al testigo. El BioTS presentó una mayor influencia en el número de vainas y el BioV en el NDVI y altura de plantas y, por consiguiente, la aplicación secuencial de dichos bioestimulantes más el BioR, resultó en una mayor productividad lográndose un rendimiento de 4.889 kg ha⁻¹, superando al testigo que presentó una media de 4.329 kg ha⁻¹. En el invernadero no se observaron diferencias estadísticas. Los bioestimulantes respondieron mejor a campo, probablemente debido a su capacidad de mitigar el estrés ocasionado por las condiciones climáticas adversas y daños por herbicidas.

Palabras clave: Bioestimulante, estrés, soja.

INFLUÊNCIA DE BIOSTIMULANTES NAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)

Autor: Guido Ronaldo Samudio Cardozo

Orientadora: Prof. Ing. Agr. MSc. Alba Liz González

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. PhD. Héctor Javier Causarano Medina

Co-Orientadora: Prof. Ing. Agr. MSc. María Del Pilar Galeano Samaniego

RESUMO

O uso de bioestimulantes pode promover um aumento na produtividade das culturas, melhorando a absorção e assimilação de nutrientes, a tolerância ao estresse abiótico e melhorando as características agronômicas da cultura. O objetivo da pesquisa foi avaliar a influência de bioestimulantes em alguns parâmetros de crescimento e produção de soja. O experimento foi realizado no distrito de Minga Guazú, departamento do Alto Paraná, na safra 2018/2019. Um teste de campo foi realizado em um solo classificado como Rhodic Kandiodox, sob o sistema de semeadura direta e um ensaio em vasos numa estufa de produção. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados. No campo, os tratamentos consistiram em um bioestimulante de aplicação em sementes (BioTS), bioestimulante de aplicação foliar em estágio vegetativo (BioV) e reprodutivo (BioR) e as combinações destes BioTS + BioV, BioV + BioR, BioTS + BioR, BioTS + BioV + BioR e um controle sem aplicação de bioestimulantes, totalizando oito tratamentos com quatro repetições. Em casa de vegetação, os tratamentos foram: BioTS, BioV, BioTS + BioV e um controle sem aplicação de bioestimulantes, totalizando quatro tratamentos com cinco repetições. Os bioestimulantes possuem uma fração mineral e uma orgânica composta de aminoácidos, ácidos húmicos e fúlvicos e fito-hormônios. As variáveis avaliadas em campo foram NDVI, índice de clorofila, massa de ar seco, altura da planta, número de vagens por planta e grãos por vagem, produtividade e peso de mil grãos. Em casa de vegetação, foram avaliados o índice de clorofila, massa aérea e raiz seca; número de nós, vagens e grãos por planta; massa seca e número de nódulos por planta. No campo, os bioestimulantes influenciaram o NDVI, altura da planta, número de vagens por planta e produtividade de grãos, obtendo aumentos de até 3,8; 8,6; 21,3; 12,9%, em comparação com a testemunha. O BioTS teve maior influência no número de vagens e no BioV no NDVI e na altura da planta e, consequentemente, a aplicação sequencial dos referidos bioestimulantes mais o BioR, resultou em maior produtividade, atingindo um rendimento de 4.889 kg ha⁻¹, superando a testemunha que apresentou uma média de 4.329 kg ha⁻¹. Na estufa, não foram observadas diferenças estatísticas, o que resulta em informações importantes, pois permite entender que a influência dos bioestimulantes no campo se deve à capacidade dos bioestimulantes de mitigar o estresse causado por condições climáticas adversas e danos causados por herbicidas.

Palavras-chave: Bioestimulante, soja, estresse, nódulos.

INFLUENCE OF BIOSTIMULANTS ON AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF SOYA (*Glycine max* (L.) Merrill)

Author: Guido Ronaldo Samudio Cardozo

Advisor: Prof. Ing. Agr. MSc. Alba Liz González

Co-Advisor: Prof. Ing. Agr. PhD. Héctor Javier Causarano Medina

Co-Advisor: Prof. Ing. Agr. MSc. María Del Pilar Galeano Samaniego

SUMMARY

Biostimulants could promote an increase in crop productivity by improving the absorption and assimilation of nutrients, tolerance to abiotic stress and improving the agronomic characteristics of the crop. The objective of the research was to evaluate the influence of biostimulants in some parameters of growth and production of soybean crop. The experiment was carried out in the District of Minga Guazú, Department. from Alto Paraná, in the 2018/2019 harvest. A field testing was conducted on a soil classified as Rhodic Kandiudox, under the direct sowing system and a trial in pots under a greenhouse. The experimental design was randomized complete blocks. In the field the treatments consisted of a biostimulant of application in seeds (BioTS), biostimulant of foliar application in vegetative stage (BioV) and reproductive (BioR) and the combinations of these BioTS + BioV, BioV + BioR, BioTS + BioR, BioTS + BioV + BioR and a control without application of biostimulants, totaling eight treatments with four repetitions. In the greenhouse the treatments were: BioTS, BioV, BioTS + BioV and a control without application of biostimulants, totaling four treatments with five repetitions. Biostimulants have a mineral and an organic fraction composed of amino acids, humic and fulvic acids and phytohormones. The variables evaluated in the field were NDVI, chlorophyll index, dry air mass, plant height, number of pods per plant and grains per pod, yield and weight of one thousand grains. In the greenhouse the chlorophyll index, dry aerial and root mass was evaluated; number of knots, pods and grains per plant; dry mass and number of nodules per plant. In the field, biostimulants influenced the NDVI, plant height, number of pods per plant and grain yields, obtaining increases of up to 3.8; 8.6; 21.3; 12.9%, compared to the witness. The BioTS had a greater influence on the number of pods and the BioV in the NDVI and plant height and, consequently, the sequential application of said biostimulants plus the BioR, resulted in a higher productivity achieving a yield of 4,889 kg ha⁻¹, surpassing the witness who presented an average of 4,329 kg ha⁻¹. In the greenhouse no statistical differences were observed, this results in important information as it allows us to understand that the influence of biostimulants in the field is due to the ability of biostimulants to mitigate the stress caused by adverse weather conditions and herbicide damage.

Keywords: Biostimulant, Soybean, stress.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Portada.....	i
Hoja de aprobación	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Resumen.....	v
1. Introducción	1
2. Revisión de literatura	3
2.1 Bioestimulantes	3
2.1.2 Formulaciones de bioestimulantes	3
2.2 Extractos de algas marinas	4
2.3 Fitohormonas	4
2.4 Glicina Betaína.....	5
2.5 Ácidos húmicos y fúlvicos	6
2.6.1 Boro.....	8
2.7 Micronutrientes implicados en la formación de nódulos en leguminosas	10
2.7.1 Cobalto	10
2.7.2 Molibdeno	10
2.8 Bioestimulantes en la agricultura	11
2.9 Bioestimulantes como mitigador de efectos fitotóxicos del glifosato	12
2.10 Cultivo de la soja.....	14
3. Materiales y métodos	16
3.1 Localización, caracterización y periodo de la investigación.....	16
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	18
3.2.1 Experimento a campo.....	18
3.2.2 Experimento en maceta bajo invernadero	19
3.3 Material experimental	20

3.3 Implantación y manejo del experimento	20
3.3.1 Siembra de la soja	20
3.3.2 Aplicación de bioestimulantes	21
3.3.3 Cuidados culturales	22
3.3.4 Cosecha	22
3.4 Evaluación y variables de medición.....	23
3.4.1 Experimento a campo.....	23
3.4.2 Experimento en invernadero	24
4. Resultados y discusión	24
4.1.1 Parámetros de crecimiento de la soja	24
4.1.2 Componentes productivos de la soja.....	29
4.2.1 Parámetros de crecimiento y componentes productivos de la soja.....	33
4.2.2 Desarrollo de raíces y formación de nódulos	35
5. Conclusión	27
6. Referencias bibliográficas	27
7. Anexos	46

LISTA DE TABLAS

	Página
1. Resultado de análisis de suelo antes de la instalación del experimento. Minga Guazú, Paraguay, 2019.....	17
2. Tratamientos utilizados en el experimento a campo.....	19
3. Tratamientos utilizados en el experimento en macetas bajo invernadero....	20
4. NDVI, índice de clorofila (IC), materia seca aérea (MSA) y altura final de plantas (AP) en función a la aplicación de bioestimulantes. Minga Guazú, Paraguay, 2019.....	26
5. Número de vainas por planta (NVP), número de granos por vaina (NGV), peso de mil granos (PMG) y rendimiento de granos (REN) en función a la aplicación de bioestimulantes. Minga Guazú, Paraguay, 2019.....	29
6. Masa seca aérea (MSA), índice de clorofila (IC), número de nudos por planta (NUDP), número de vainas con granos por planta (NVP) y número de granos por planta (NGP) en función a la aplicación de bioestimulantes. Minga Guazú, Paraguay, 2019.....	33
7. Número de nódulos por planta (NODP), masa seca de nódulos (MSN) y masa seca de la raíz (MSR). Minga Guazú, Paraguay, 2019.....	35

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Localización del área experimental.....	16
2. Datos de precipitación (mm), correspondientes a una media histórica (2000-2018) con una media de 814 mm, zafra anterior (2017-2018) con una precipitación total de 1635 mm y actual (2018-2019) con 697,7 mm.....	18
3. Rendimiento de granos en función a la aplicación de bioestimulantes. Minga Guazú, Paraguay, 2019.....	32

LISTA DE ANEXOS

	Página
1. Plano de distribución de los tratamientos en el área experimental. Minga Guazú, Paraguay. 2019.....	47
2. Fertilización y siembra de soja. Minga Guazú, Setiembre, 2018.....	48
3. Desarrollo inicial del cultivo, Minga Guazú, Set-octubre, 2018.....	48
4. Vista aérea de la parcela en estadio reproductivo, Minga Guazú, Noviem-bre, 2018.....	49
5. Aplicación de tratamientos vía pulverización foliar, Minga Guazú, 2018.....	49
6. Evaluación de índice de clorofila, 10 DDA de la aplicación de bioestimulante en etapa vegetativa. Minga Guazú, setiembre, 2018.....	50
7. Evaluación de NDVI, 10 DDA de la aplicación bioestimulantes en etapa vegetativa. Minga Guazú, setiembre 2018.....	50
8. Cosecha de soja, experimento a campo. Minga Guazú, enero, 2019....	51
9. Medición de variables de poscosecha. Minga Guazú, febrero, 2019....	51
10. Vista del Invernadero utilizado en el experimento en macetas. Minga Guazú, marzo 2019.....	52
11. Disposición de macetas en el invernadero. Minga Guazú, Abril, 2019.....	52

12. Vista de plantas de soja en el estadio R5. Minga Guazú, mayo, 2019.	53
13. Medición de variables del experimento en invernadero. Minga Guazú, mayo, 2019.....	53
14. Tabla general de datos del experimento a campo. Minga Gauzú, 2019.....	54
15. Tabla general de datos del experimento en invernadero. Minga Guazú, 2019.....	55
16. Análisis de varianza de parámetros de crecimiento de la soja en el experimento a campo. Minga Guazú, 2019.....	56
17. Análisis de varianza de componentes productivos del cultivo de soja del experimento a campo. Minga Guazú, 2019.....	58
18. Análisis de varianza de parámetros de crecimiento y componentes productivos de la soja del experimento en invernadero. Minga Guazú, 2019.....	60
19. Análisis de varianza de parámetros de desarrollo de raíces y formación de nódulo, experimento en invernadero. Minga Guazú, 2019.....	61

1. INTRODUCCIÓN

La economía productiva del Paraguay está basada en el sector agropecuario que aporta el 30,4% al PIB, en donde el 22% corresponde a la agricultura. En este sector se destacan los cultivos de granos liderado por la soja, que junto con el maíz y el trigo representa el 76% del valor bruto de la producción (BIRF 2014).

En cuanto a la producción de soja, el Paraguay está ubicado como el cuarto exportador de dicho producto, después de Argentina, Estados Unidos y Brasil, y el sexto productor de la oleaginosa. En la campaña agrícola 2017/2018, la superficie de soja totalizó unas 3.400.000 hectáreas, con un rendimiento medio de 2.794 kg ha⁻¹. Alto Paraná es el departamento que lidera con una superficie aproximada de 896.053 ha en la campaña 2014/2015 (CAPECO 2018).

Siendo considerada como un importante factor socioeconómico, la soja ha sido objeto de innumerables investigaciones con el fin de buscar soluciones a los problemas que surgen en torno a los sistemas productivos. En este sentido varias tecnologías son aplicadas para elevar la productividad de la soja y mejorar la rentabilidad de los sistemas de producción de forma sostenible, entre ellos el uso de bioestimulantes agrícolas, que debido a sus propiedades prometedoras, son necesarias mayores investigaciones a nivel regional para obtener informaciones acerca del efecto de los mismos en condiciones edafoclimáticas del país y en cultivos de importancia económica.

El uso de los bioestimulantes en la agricultura está en aumento, con su uso no se pretende reemplazar a la fertilización sino complementarla ya que estimulan los procesos naturales para mejorar la absorción y la eficiencia de nutrientes repercutiendo

de forma positiva en el rendimiento y calidad de las cosechas. Además, estimula el desarrollo vegetal y confiere a las plantas resistencia ante distintas situaciones de estrés ocasionados por condiciones climáticas adversas como también por efectos secundarios de herbicidas.

La acción de los bioestimulantes se explica partiendo de la base de su composición, que consiste en una mezcla de dos o más biorreguladores con otras sustancias (aminoácidos, vitaminas, nutrientes), estos pueden provenir de diversas fuentes primarias, siendo una de ellas los extractos de algas marinas, que son ricos en sustancias bioestimulantes.

En base a lo expuesto, el objetivo general del trabajo es evaluar la influencia de bioestimulantes sobre la producción de soja, y como objetivos específicos evaluar el desarrollo de la parte aérea y radicular, formación de nódulos, componentes productivos y rendimiento de granos de soja.

Se plantea la hipótesis de que los bioestimulantes promoverán un aumento en el desarrollo aéreo, formación de raíces y nódulos, y por consiguiente en la productividad de la soja.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Bioestimulantes

Los bioestimulantes son cualquier sustancia o microorganismo que al ser aplicados a las plantas, tiene la capacidad de mejorar la eficacia de estas en la absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico o abiótico y mejorar las características agronómicas de los cultivos (Du Jardin 2015).

Según Vieira y Castro (2001), la mezcla de dos o más biorreguladores con otras sustancias de naturaleza química distinta (aminoácidos, nutrientes y vitaminas) da origen al bioestimulante vegetal.

Basak (2008), menciona que el efecto de los bioestimulantes sobre las plantas es el resultado de su influencia en el metabolismo. De esta forma estimulan la síntesis de hormonas naturales, pudiendo también aumentar su actividad, facilitar la adsorción de nutrientes a partir del suelo, estimular el crecimiento radicular, contribuir al aumento de la productividad y a la mejora de la calidad. Además, aumenta la resistencia de plantas a condiciones desfavorables, tales como la sequía, la contaminación del ambiente con metales pesados entre otros. Esto también puede ser atribuido a la alteración en la actividad enzimática de la síntesis de antioxidantes.

2.1.2 Formulaciones de bioestimulantes

Según Saborío (2002), existen diversos tipos de bioestimulantes, algunos son químicamente bien definidos como los compuestos por aminoácidos, polisacáridos, oligopéptidos o polipéptidos y otros grupos de bioestimulantes son más complejos en

su composición química, como pueden ser los extractos de algas y ácidos húmicos. Estos también pueden contener macro y micro nutrientes en concentraciones balanceadas y reguladores de crecimiento vegetal, como también una mezcla de las anteriores.

2.2 Extractos de algas marinas

Biólogos marinos constataron altos niveles de sustancias bioestimulantes presentes en las células de algas marinas. Actualmente existen varios tipos de algas a partir de las cuales se obtienen bioestimulantes. Entre ellas se encuentran especies como *Ascophyllum*, *Sargassum* y *Macrocystis gigante* (Saborio 2002).

Los efectos positivos del uso de extractos de algas incluyen mejoras en la germinación, desarrollo de raíces, vigor de plantas, y resistencia a patógenos; son utilizados como bioestimulantes, pues incentivan a la planta a producir sus propias hormonas y contribuyen en la absorción y translocación de nutrientes (Kahn et al. 2009).

Relatos sobre el uso de extractos de algas demuestran resultados importantes, en donde se constatan incrementos de hasta el 50% en el rendimiento de granos de soja en comparación al testigo, confirmándose su potencial en la agricultura (Rathore et al. 2009).

2.3 Fitohormonas

Las hormonas vegetales son moléculas presentes en cantidades pequeñas en las plantas, y los cambios que se producen en su concentración hormonal y en la sensibilidad de los tejidos pueden mediar una amplia gama de procesos de desarrollo en las plantas (Crozier, citado por Bertolin et al. 2010).

Las hormonas, así como las vitaminas y otros compuestos en los vegetales tienen propiedades que ejercen efectos de gran importancia morfofisiológicas, aun cuando son encontrados en bajas concentraciones (Castro y Vieira 2001).

Estas sustancias tienen influencia sobre varios órganos de las plantas, cuyo efecto depende de la especie, del estadio de desarrollo, de la concentración, de la interacción de reguladores y de varios factores ambientales. Seis grupos de sustancias son consideradas hormonas vegetales: las auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, ácido abscísico y brasinoesteroides (Taiz y Zeiger 2006).

Las citoquininas son hormonas de las plantas que ejercen múltiples efectos sobre su desarrollo, uno de los más característicos es la estimulación de la división celular en presencia de auxinas (Segura 2008).

Las citoquininas participan en el proceso de diferenciación celular y enlongamiento, principalmente cuando interactúan con las auxinas. Están ligadas a la senescencia foliar, movilización de nutrientes, también a la dominación apical, formación y actividad de los meristemas apicales y el desarrollo floral (Taiz y Zeiger 2006).

2.4 Glicina Betaína

La glicina Betaína es un compuesto acumulado en algunas plantas que están bajo condiciones estresantes, como por estrés hídrico, salino, frío, calor y congelamiento, debido a que este compuesto ayuda en el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares, manteniendo la eficiencia fotosintética (Ashraf y Foolad 2007).

Entre las especies que pueden acumular este compuesto se destacan las pertenecientes a familias de Amaranthaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae, Convolvulaceae, Gramineae, Malvaceae, Poaceae, y Portulacaceae (Weretilnyk et al. 1989).

Agboma et al. (1997), mencionan que existen evidencias de que la soja podría clasificarse como un bajo acumulador de glicinabetaína. La acumulación de estos compuestos permite el mantenimiento y/o la estabilización de la turgencia de proteínas

y membranas contra efectos desestabilizadores de estreses abióticos incluyendo salinidad, sequía y temperatura extremos, todos los cuales causan el agotamiento del agua celular (Demiral y Turkan 2006).

Los aminoácidos son importantes componentes de sistemas antioxidantes en plantas. Estas moléculas actúan en la reducción de radicales libres y en la osmoprotección. La glicina (aminoácido) actúa en respuesta al estrés, formando parte de la formación de glicina betaína, y ésta a la vez actúa como osmoprotector en plantas especialmente bajo condiciones de estrés salino, buscando la reducción de este efecto (Demiral y Turkan 2006, Ashraf y Folad 2007).

Agboma et al. (1997), mencionan que la glicina betaína aplicada vía foliar posee propiedades anti-transpirantes y tiene el potencial de mejorar la tolerancia a la sequía.

En base a sus beneficios como protectores de condiciones estresantes del medio, aplicaciones exógenas de estos compuestos resulta en una alternativa válida para mejorar el rendimiento en condiciones de estrés del medio (Heuer 2003).

2.5 Ácidos húmicos y fúlvicos

Los ácidos húmicos y fúlvicos son componentes principales de las sustancias húmicas (SH), y estos a su vez son compuestos orgánicos derivados de humus proveniente de diferentes fuentes. La composición química de estos ácidos es compleja y varía de acuerdo con la materia prima que se usa para su extracción (Singh 2002).

Los ácidos húmicos y fúlvicos forman humatos y fulvatos con los cationes del suelo, evitando la retrogradación. Son capaces de fijar los nutrientes que son aplicados como fertilizante, disminuyendo las pérdidas por lixiviación e inmovilización, son activadores de la flora microbiana del suelo, incrementan la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la retención de humedad. Además, estimula el desarrollo de la raíz y aumenta la permeabilidad de la membrana celular facilitando la absorción de nutrientes (Molina 2002).

De acuerdo con Atiyeh et al. (2002), los ácidos húmicos son moléculas complejas formadas por la descomposición de la materia orgánica, que influyen directamente en la fertilidad del suelo, contribuyendo con su estabilización y absorción de nutrientes y crecimiento de plantas.

Singh (2002), menciona que la aplicación foliar ayuda en la corrección de las deficiencias nutricionales en plantas, reducción de fertilizantes a aplicar, aumento en el volumen de las raíces con más pelos absorbentes y retorno económico aceptable.

Según Hartz y Bottoms (2010), estos compuestos presentan mejores resultados en suelos con bajo tenores de materia orgánica o cuando la planta estuvo sujeta a condiciones estresantes del medio.

Benitez et al. (2007), evaluando el efecto de sustancias húmicas obtenidas a partir de la extracción de la fracción húmica de un fertilizante órgano-mineral y aplicadas en diferentes estadios de la soja encontraron aumentos significativos en el rendimiento, con un incremento próximo a 30% en comparación al testigo, siendo las mejores épocas de aplicación en V4 y en prefloración.

Las sustancias húmicas pueden utilizarse como protector contra efectos fitotóxicos causadas por herbicidas sobre las plantas de soja. Las moléculas orgánicas humificadas pueden también asociarse a otros compuestos orgánicos como los aminoácidos mejorando la tolerancia de la planta contra el estrés abiótico ocasionado por herbicidas y condiciones climáticas adversas (Santos et al. 2015).

2.6 Micronutrientes

Los micronutrientes esenciales como el boro (B), cobre, (Cu), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), cobalto (Co) y Zinc (Zn) son utilizados en menor proporción por las plantas en comparación con los macronutrientes, sin embargo esto no significa que sean menos importantes, ya que su deficiencia afecta el desarrollo de las plantas

impactando directamente en la productividad del cultivo e inclusive ocasionar la muerte de la planta (Dubou y Limberger 2016, Peruchi 2009)

Algunos bioestimulantes presentan en sus formulaciones micronutrientes que son incorporados para aumentar los beneficios y suplir la deficiencia de estos durante los procesos de germinación, desarrollo y producción de granos (Silva et al. 2008).

Existen varios factores que afectan la disponibilidad y la absorción de micronutrientes por las plantas, entre ellas: el pH del suelo, en donde con valores elevados ocurre la disminución de la solubilización y de la absorción de Cu, Zn, Fe y Mn, mientras que, para el Mo, ocurre un aumento de la disponibilidad; la materia orgánica, textura, actividad microbiana y condiciones climáticas también influyen en la disponibilidad de micronutrientes (Dechen y Ribeiro 2006).

Según Mascarenhas et al. (2014), también puede ocurrir deficiencias de micronutrientes por el uso excesivo de calcáreo y fertilizantes de forma desbalanceada que puede ocasionar un desequilibrio químico en el suelo, el uso intensivo del suelo y el bajo contenido de materia orgánica del suelo.

2.6.1 Boro

De acuerdo con Bonilla (2008) y Sfredo (2008), el 95% del boro se encuentra en las paredes celulares de las plantas, cumpliendo un papel estructural, es absorbido principalmente como H_3BO_3 . Además, se ha relacionado con procesos fisiológicos como la división y crecimiento celular, síntesis de ácidos nucleicos (DNA y RNA) y de fitohormonas, en el metabolismo y transporte de los carbohidratos, y en transporte de azúcares a través de las membranas.

Su deficiencia desorganiza los vasos conductores, disminuye la germinación de los granos de polen y el crecimiento del tubo polínico. Debido a la poca movilidad del nutriente en la planta, los síntomas de deficiencia se manifiestan primeramente en los

tejidos jóvenes y recién formados. Otro síntoma de deficiencia de Boro es el superbrotamiento, por muerte de la yema apical (Sfredo y Borket 2004).

El boro también interviene en los procesos reproductivos, favoreciendo la retención floral y el cuajado de vainas. Su deficiencia puede causar caída de flores y vainas (Mazzilli 2011).

Musskopf y Bier (2010), afirman que el boro es más exigente para la fecundación de las flores y formación de vainas que en el crecimiento vegetativo.

Medina et al. (2015), en una investigación realizada en el Departamento Central, Paraguay, constataron que la aplicación foliar de boro en dos etapas del cultivo (prefloración y floración) y en diferentes dosis no aumentaron los componentes productivos de la soja.

Rerkasem y Jamjod (1997), constataron que la reserva de Boro en las semillas es muy importante, puesto que semillas deficientes en este nutriente a menudo tienen bajo poder germinativo, resultando en plántulas anormales.

2.6.2 Cobre

El cobre es un micronutriente esencial para las plantas, ya que actúa en la formación de la clorofila, cataliza varios procesos y es necesario para la promoción de diversas reacciones en la planta (Silva et al. 2008).

La deficiencia de cobre se presenta con poca frecuencia, y se encuentra disponible en la mayoría de los suelos. Puede ser absorbido por las plantas como catión divalente Cu^{2+} en suelos con buena aireación y como Cu^{+} en suelos saturados (Bonilla 2008)

2.6.3 Zinc

El zinc puede ser absorbido como catión divalente (Zn^{2+}) y su disponibilidad es mayor a pH bajo. Su deficiencia se caracteriza por la presencia de clorosis internerval, pudiendo ocasionar disminución en el crecimiento de las hojas y el acortamiento de entrenudos. El zinc forma parte de la actividad de aproximadamente ochenta sistemas enzimáticos, también presenta participación en la estabilidad del ribosoma y como regulador de la expresión génica al estar presente en el RNA polimerasa (Bonilla 2008).

2.7 Micronutrientes implicados en la formación de nódulos en leguminosas

2.7.1 Cobalto

El cobalto es un nutriente absorbido por las raíces como Co^{2+} , el mismo no es considerado como un nutriente esencial para las plantas, sin embargo, es considerado como un elemento benéfico, ya que es necesario para la síntesis de leghemoglobina, sustancia esencial para que ocurra la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas (Marcondes y Caires 2005).

Su deficiencia causa clorosis, seguido de necrosis en las hojas viejas. Estos síntomas se caracterizan por los síntomas de deficiencia de nitrógeno. Por otro lado, el exceso de Co disminuye la absorción del hierro, y por ende los síntomas de toxicidad de Co son semejantes a los síntomas de deficiencia de hierro (Sfredo y Borket 2004).

2.7.2 Molibdeno

El molibdeno existe en el suelo principalmente como sales de molibdato (MoO_4^{2-}) o ($HMoO_4^-$), y como MoS_2 molibdenita, como principal mineral que lo contiene. Es el único micronutriente que aumenta su solubilidad con el pH. Su función en la planta radica en que forma parte de una enzima clave en la asimilación del nitrato, la nitrato reductasa, responsable de la reducción de los nitratos a nitritos. También forma parte de la enzima nitrogenasa, fundamental en la fijación biológica del

nitrógeno y presente en todos los microorganismos capaces de realizar este proceso de fijación, tanto en forma libre como en simbiosis (Bonilla 2008).

El molibdeno es absorbido por las raíces como MoO_4^{2-} . Las plantas requieren pequeñas cantidades (menos de 1mg kg^{-1} de Mo en la materia seca de la planta). Es un nutriente que se caracteriza por ser más necesario para la fijación biológica de nitrógeno en la soja. Es un nutriente móvil en el floema. El complejo nitrogenasa también contiene Mo y la enzima necesaria para la fijación simbiótica del N_2 . Forma parte de la estructura de la enzima reductasa y su deficiencia provoca acumulación de nitrato en la planta (Silva et al. 2008, Sfredo y Borket 2004).

Guerra et al. (2006), aplicando micronutrientes (Co y Mo) vía semillas en cultivo de la soja encontraron incrementos en la germinación, determinada por el test de germinación y la emergencia a campo.

Beltrame (2009), también observó que la aplicación de micronutrientes vía tratamiento de semillas permitía un mayor crecimiento inicial del sistema radicular, principalmente en condiciones de deficiencia hídrica.

2.8 Bioestimulantes en la agricultura

Los costos operacionales de aplicación de bioestimulantes vía semilla y foliar, no producen aumentos en los costos de producción por la aplicación, ya que estos son aplicados juntamente con la inoculación de semillas y con las pulverizaciones de agroquímicos para el control de malezas, plagas y enfermedades, es decir, pueden ser mezclados con los productos químicos utilizados (Alflen 2005).

Bertolin et al. (2010), constataron incremento en el número de vainas por planta y productividad de granos tanto en aplicaciones vía semillas como también vía foliar de bioestimulante a base de fitorreguladores. En el rendimiento de granos obtuvieron incrementos de 37% con relación al testigo con aplicaciones foliares y 40% con

aplicaciones vía semilla. En cuanto a las variables altura de plantas y altura de inserción de la primera vaina no presentó diferencias significativas.

Alflen (2005), en una investigación llevada a cabo en Brasil, estado de Paraná, evaluando el efecto del Bioestimulante Stimulate® en soja, constató un aumento en el número de granos y vainas por planta, sin embargo, los tratamientos con dicho bioestimulante resultaron en menor masa 100 granos. El autor concluyó que este efecto pudo deberse a la partición de fotoasimilados entre los drenajes fisiológicos.

Carvalho et al. (2013), reportaron aumentos en el rendimiento de granos de la soja por la aplicación de este bioestimulante realizando tres aplicaciones foliares con la dosis de 0,5 L ha⁻¹. Por otro lado, Alderete et al. (2017), no encontraron respuestas significativas con la aplicación de este bioestimulante.

Koner et al. (2015), utilizando bioestimulantes a base de aminoácidos y macro y micronutrientes (N, B, Co, Mo), constataron incrementos en la altura de plantas y masa fresca de raíces.

Cobucci et al. (2005), estudiando la respuesta del poroto a la aplicación de bioestimulantes resaltaron la importancia de la fase fenológica para la aplicación de bioestimulantes, puesto que encontraron que dosis iguales presentaban resultados distintos al ser aplicados en diferentes etapas. Además, observaron mejores resultados de aplicaciones en etapas reproductivas comparando con la etapa vegetativa para el bioestimulante utilizado.

2.9 Bioestimulantes como mitigador de efectos fitotóxicos del glifosato

Freitas et al. (2018), Franco et al. (2012), Zobiolo et al. (2010), Cerdeira et al. (2007), mencionan que se han observado en algunos casos, daños o síntomas de efectos negativos del herbicida glifosato en el cultivo de soja genéticamente modificada, a pesar de estos ser resistentes al herbicida glifosato.

Los mismos autores mencionan que los reportes de las investigaciones recientes demuestran que el síntoma clorótico en los cultivos de soja RR puede ser atribuido a la inmovilización de cationes bivalentes, como el Fe y el Mn. Por otro lado, Basso et al. (2011), menciona que el amarillamiento de la soja RR posterior a la aplicación de glifosato puede estar asociado a la deficiencia momentánea de manganeso.

Del mismo modo, muchos agricultores han observado daños visuales en las plantas de soja luego de la aplicación de glifosato en pos-emergencia (Santos et al. 2007).

Según Cakmak et al. (2009), la duración del síntoma de amarillamiento depende de la habilidad de la planta de recuperarse mediante la absorción radicular de esos elementos que fueron inmovilizados por el glifosato en los tejidos vegetales.

La ocurrencia del amarillamiento ha llevado a muchos productores al uso intensivo de fertilizantes foliares como alternativa para suplir la deficiencia nutricional ocasionada por el glifosato, ayudando en la recuperación de los efectos secundarios del herbicida (Zobiolo et al. 2010).

El glifosato también interfiere en la síntesis de aminoácidos. La suplementación con aminoácidos exógenos puede ayudar a que la soja RR se recupere de los efectos adversos del glifosato (Saes et al. 2010)

Contastin et al. (2016), constataron que con la aplicación única o secuencial del herbicida glifosato de post emergencia asociado a un bioestimulante impidieron pérdidas en el rendimiento de soja resistente al glifosato, protegiendo al cultivo de las lesiones ocasionadas por el herbicida.

Dranca et al. (2018), evaluando el desempeño de mezclas en tanque de herbicidas (glifosato, lactofen, cloransulam) con un bioestimulante a base de extractos de algas y ácidos húmicos y fúlvicos, y un regulador de crecimiento (ácido salicílico) en la reducción de la fitotoxicidad del cultivo de soja, constataron que la aplicación de

herbicidas con el bioestimulante y regulador de crecimiento presentaban los menores niveles de daños en la parte aérea de las plantas, reduciendo hasta un 7% la fitotoxicidad a los 21 días después de la aplicación (DDA).

2.10 Cultivo de la soja

La soja *Glycine max* (L.) Merrill, es una planta anual, cultivada principalmente para la obtención de proteína y aceite. Es originaria de la Región Nordeste de China. El género *Glycine* pertenece a la familia *Leguminosae*, sub familia *Papilionoideae*, tribu *Phaseolae* (Judd et al. 2009).

Fue introducida en Paraguay alrededor de 1921, expandiéndose como rubro de producción agrícola recién en la década del 60 e intensificándose su producción a partir de 1968, en concurrencia con el lanzamiento del Plan Nacional del Trigo, impulsado a partir de 1966, los productores encontraron que el cultivo de la soja combinaba perfectamente con la producción de trigo, iniciándose a partir de este momento la expansión de su cultivo (Maldonado 2015).

El Paraguay está ubicado como el cuarto exportador de dicho producto, después de Argentina, Estados Unidos y Brasil, y el sexto productor de la oleaginosa. En la campaña agrícola 2017/2018, la superficie de soja totalizó unas 3.400.000 hectáreas, con un rendimiento de 2.794 kg ha⁻¹. Alto Paraná es el departamento que lidera con una superficie aproximada de 896.053 ha en la campaña 2014/2015 (CAPECO 2018)

La mayor parte de las variedades de soja presentan una media de 37 a 42% de proteína, pudiendo alcanzar hasta 52%, y el contenido de aceite se encuentra entre 17 y 22%, pudiendo alcanzar hasta 28%. Debido a su alto contenido en aceites y proteínas es ampliamente utilizado en la producción de aceite comestible y en la alimentación animal como fuente de proteína (Sediyama et al. 2016).

Las temperaturas óptimas para el desarrollo de la soja están comprendidas entre los 20 y 30°C, siendo las temperaturas próximas a 30° C las ideales para su desarrollo.

Su requerimiento hídrico se encuentra entre 400 y 600 mm de agua bien distribuidos durante el ciclo del cultivo. Como en la mayoría de los cultivos se desarrolla bien a pH próximos a 6 y es sensible al encharcamiento, por lo que los suelos arcillosos con tendencia a encharcamiento no son recomendables para su cultivo (García et al. 2009).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos, uno a nivel de campo y otro en invernadero. En el campo fueron evaluadas características de crecimiento de la parte aérea de la planta y productividad del cultivo, y en el invernadero fueron evaluadas principalmente las variables relacionadas a la raíz, nodulación y algunos parámetros de crecimiento y componentes de la producción.

3.1 Localización, caracterización y periodo de la investigación

La investigación se realizó en la Región Oriental del Paraguay, Departamento de Alto Paraná, Distrito de Minga Guazú, a 5 km de la Ruta PY 02, en el Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier en Sudamérica. El experimento a campo se realizó durante el periodo de setiembre de 2018 a enero de 2019, mientras que el experimento en invernadero de marzo a mayo de 2019.

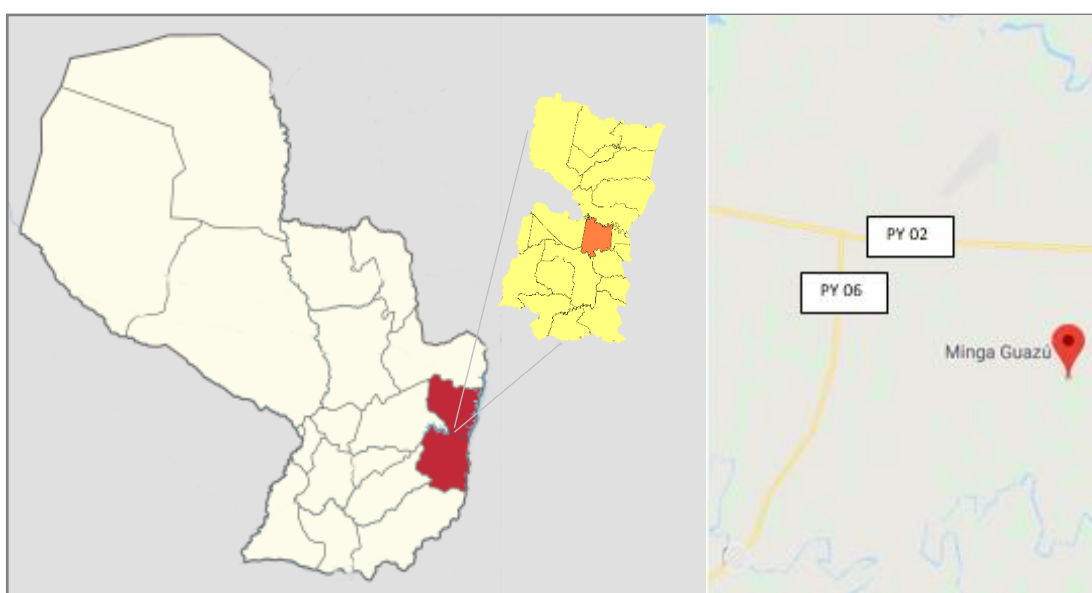


Figura 1. Localización del área experimental

Según López et al. (1995), el tipo de suelo corresponde a un Rhodic Kandiodox, con textura arcillosa, paisaje de lomadas, material de origen basalto, relieve de 0 a 8%, con buen drenaje y pedregosidad nula. El análisis químico del suelo de la camada 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad realizado antes de la instalación del experimento se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1. Resultado de análisis de suelo antes de la instalación del experimento. Minga Guazú, Paraguay, 2019.

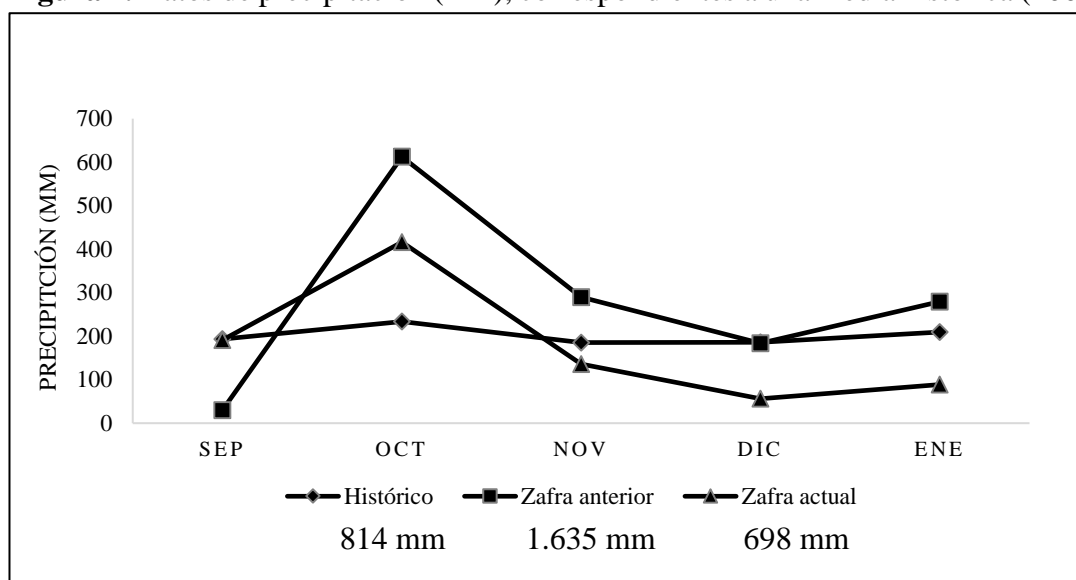
Determinación	Unidad de medida	Resultados	
		0-20 cm	20-40 cm
Calcio	cmol _c dm ⁻³	4,40	4,29
Magnesio	cmol _c dm ⁻³	1,19	1,06
Potasio	cmol _c dm ⁻³	0,45	0,35
Aluminio	cmol _c dm ⁻³	0,08	0,15
H+Al	cmol _c dm ⁻³	4,94	5,36
Suma de Bases	cmol _c dm ⁻³	6,04	5,71
CTC	cmol _c dm ⁻³	10,98	11,07
Carbono	%	1,75	1,40
M.O.	%	3,02	2,42
Sat. Aluminio	%	1,31	2,56
Sat Bases	%	55,00	51,56
Fósforo	mg dm ⁻³	5,97	2,95
Azufre	mg dm ⁻³	5,09	12,21
Boro	mg dm ⁻³	0,41	0,42
Hierro	mg dm ⁻³	19,86	25,62
Manganeso	mg dm ⁻³	84,67	80,59
Cobre	mg dm ⁻³	4,37	6,16
Zinc	mg dm ⁻³	5,19	2,90
pH CaCl ₂		4,92	4,83
pH SMP		6,01	5,9
pH H ₂ O		5,63	5,5
Textura		arcillosa	arcillosa

Análisis realizado en el laboratorio del Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier.

En cuanto a las condiciones climáticas, el área pertenece al tipo climático cfa (mesotérmico) de Koeppen, con temperatura media anual entre 21 y 22 °C y precipitación media anual entre 1.650 y 1.700 mm (Huespe et al. 1995). El periodo experimental se caracterizó por escasas de lluvia a partir de la etapa reproductiva. Se registró una precipitación total de 698 mm durante el ciclo del cultivo y el pico más bajo se observó en diciembre, para lo cual se aplicó un riego complementario de 30

mm para mitigar el déficit hídrico. En el experimento en invernadero las temperaturas variaron entre 15 y 28 °C y se aplicó riego de acuerdo con las necesidades del cultivo. Los datos de precipitación durante el ciclo del cultivo en comparación con un promedio histórico del año 2000-2018 se observa en la Figura 1.

Figura 2. Datos de precipitación (mm), correspondientes a una media histórica (2000-



2018) con una media de 814 mm, zafra anterior (2017-2018) con una precipitación total de 1635 mm y actual (2018-2019) con 697,7 mm.

Fuente: Estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Guaraní, Minga Guazú, periodo 2000-2018. Perteneciente a la Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas del Paraguay de la DMH (Dirección de Meteorología e Hidrología).

3.2 Diseño experimental y tratamientos

3.2.1 Experimento a campo

El diseño experimental utilizado en el experimento a campo fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de tres bioestimulantes; un bioestimulante de aplicación en semillas (BioTS), bioestimulante de aplicación vía foliar en estado vegetativo (BioV) y bioestimulante de aplicación via foliar en estado reproductivo (BioR) y en las combinaciones posibles de estas, totalizando 8 tratamientos y 32 unidades experimentales. En la Tabla 2 se presenta el resumen de los tratamientos.

Tabla 2. Tratamientos utilizados en el experimento a campo

Tratamientos	Bioestimulantes	Modo de aplicación		
		Vía semillas	Vía foliar	
			Estado V4	Estado R1
1	Testigo (sin bioestimulante)	-	-	-
2	BioTS	Si	-	-
3	BioV	-	Si	-
4	BioR	-	-	Si
5	BioTS + BioR	Si	Si	-
6	BioV + BioR	-	Si	Si
7	BioTS + BioR	Si	-	Si
8	BioTS + BioV + BioR	Si	Si	Si

Las unidades experimentales fueron parcelas con cinco hileras de 6 m de largo y 45 cm entre hileras, totalizando un área de 10,8 m² y el área útil consistió en las tres hileras centrales eliminando 1 m de cada extremo para evitar el efecto borde. El plano del experimento se presenta en el Anexo 1.

3.2.2 Experimento en maceta bajo invernadero

Este experimento se realizó con el objetivo de permitir una mejor evaluación de las raíces y nodulación. Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de dos bioestimulantes (Tabla 3); BioTS y BioV, y las combinaciones posibles de estas, totalizando 4 tratamientos.

Tabla 3. Tratamientos utilizados en el experimento en macetas bajo invernadero.

Tratamientos	Bioestimulantes	Modo de aplicación		
		Vía semillas	Vía foliar	
			EstadoV4	Estado R1
1	Testigo (sin bioestimulante)	-	-	-
2	BioTS	Si	-	-
3	BioV	-	Si	-
4	BioTS + BioV	Si	Si	Si

Las unidades experimentales fueron macetas de 10 dm³ conteniendo dos plantas. A partir de la combinación de los tratamientos y las repeticiones se obtuvieron 20 unidades experimentales. Diariamente se rotaron las macetas, de manera que cada planta reciba la misma cantidad de luz. El suelo utilizado se extrajo de las proximidades de experimento a campo.

3.3 Material experimental

Los bioestimulantes fueron proveídos por el Centro de Investigación y Desarrollo del Grupo Roullier en Sudamérica, los mismos fueron formulados para determinadas etapas del cultivo, los cuales son para tratamiento de semilla (Bio TS), estadio vegetativo V3-V4 (BioV) y en estadio reproductivo R1 (BioR).

Estos bioestimulantes constan de una fracción orgánica y mineral, la fracción orgánica está compuesta por Ácidos Húmicos y Fúlvicos, moléculas originarias de extracto de algas como aminoácidos (Glicina-Betaína) y fitohormonas (Zeatina).

3.3 Implantación y manejo del experimento

3.3.1 Siembra de soja

En el campo, previo a la siembra se realizó el análisis de suelo de la camada superficial 0-20 y 0-40 cm y la corrección de las deficiencias químicas y aplicación de

fertilizantes se realizó de acuerdo con los resultados del análisis del suelo (Tabla 1). La aplicación de los fertilizantes se realizó en el momento de la siembra y en cobertura, aplicando 250 kg ha^{-1} de un formulado 6-24-10-6 (NPK-S) en siembra y 70 kg ha^{-1} de un formulado 00-00-28-2 (NPK-S) en cobertura.

La siembra se realizó el 29 de setiembre del año 2018 de forma manual en el sistema de siembra directa sobre los rastrojos desecados de maíz. Fueron utilizadas semillas de soja de la variedad NA 5909, con un espaciamiento de 0,45 m entre hileras y 13,5 plantas por metro lineal. Los tratamientos vía semilla fueron aplicados poco antes de la siembra.

Las semillas fueron inoculadas con bacterias del género *Rizhobium spp*, específico para la soja, en la dosis de $0,5 \text{ mL kg}^{-1}$ de semillas para asegurar la provisión de nitrógeno. También se realizó el tratamiento de semilla con Tiametoxam 35%, mezcla de (Fludioxinil 2,5% + Metalaxil 2% + Tiabendazol 15%) y Cyanatraniliprole 60% en dosis de 4; 1,5 y $0,6 \text{ mL kg}^{-1}$ semilla, respectivamente para proteger a las semillas de plagas y patógenos.

En el experimento en invernadero se sembraron semillas de soja variedad NA 5909 en bandejas de germinación, para posteriormente trasplantar dos plantas por maceta, las semillas fueron previamente tratadas con los mismos productos utilizados en el experimento a campo. El trasplante en macetas se realizó en abril de 2019. El sustrato utilizado en las macetas consistió en 10 kg de una mezcla de suelo arcilloso y arenoso con una proporción 1:1 y con pH corregido. Para la fertilización se aplicó $1,05 \text{ g maceta}^{-1}$ de fosfato di-ácido de K (KH_2PO_4) aplicado juntamente con el riego.

3.3.2 Aplicación de bioestimulantes

La aplicación de bioestimulante vía semilla se realizó previo a la siembra. La dosis utilizada (100 mL ha^{-1} o $2,5 \text{ mL kg}^{-1}$ semilla) se midió con la ayuda de un recipiente graduado y de forma a facilitar el total recubrimiento de las semillas con el producto, se colocaron las semillas en una bolsa plástica junto con el caldo del bioestimulante y

agua, posteriormente fue agitado por un periodo de tiempo hasta lograr el total recubrimiento de las semillas.

La aplicación de bioestimulantes vía foliar se realizó manualmente mediante una mochila pulverizadora a CO₂, equipado con una barra de 1,5 m, con cuatro picos de pulverización espaciados a 0,5 m y una presión constante para lograr un caudal de 113 L ha⁻¹, diluyendo los bioestimulantes en agua de acuerdo a la dosis a utilizar. El bioestimulante BioV fue aplicado en la Fase V4 en fecha 29/10/18 con una dosis de 400 ml ha⁻¹ y el BioR en R1 en fecha 15/11/18 con una dosis de 1000 ml ha⁻¹. En el momento de aplicar el BioV también se aplicó el herbicida Glifosato (1,5 l ha⁻¹), mezclando ambos productos en el mismo tanque, ya que los bioestimulantes son compatibles con el mismo. El testigo recibió la misma dosis del herbicida en estado V4 sin aplicación de bioestimulantes.

3.3.3 Cuidados culturales

El control de plagas y malezas se realizó mediante control químico, la época de control estuvo sujeto a la incidencia de estos y los factores climáticos. El control de malezas en las macetas se hizo de forma manual y la provisión de agua a las plantas bajo invernadero se hizo de forma artificial de acuerdo con las necesidades del cultivo. En el experimento a campo se aplicó un riego complementario de 30 mm.

3.3.4 Cosecha

En el experimento a campo la cosecha fue realizada en forma manual el 31 de enero de 2019, una vez que la planta haya culminado su ciclo y alcanzado el nivel de humedad adecuado para la misma, totalizando 124 días después de la siembra. El corte de la planta se hizo a la altura del cuello, y el trillado o desgranado se realizó con una desgranadora mecánica estática.

En el experimento en invernadero la evaluación final se realizó a los 50 días posteriores a la siembra, llegando hasta el estadio R5.

3.4 Evaluación y variables de medición

3.4.1 Experimento a campo

a) Parámetros de crecimiento de la soja

Altura de plantas: se midieron plantas al azar del área útil mediante una cinta métrica, desde la base del tallo hasta el último brote, obteniendo un promedio que representa a la unidad experimental evaluada. Los resultados fueron expresados en centímetros.

NDVI: se midieron las plantas correspondientes al área útil 10 días después de la aplicación de los bioestimulantes de aplicación vía foliar en R1, mediante un equipo manual de nombre comercial Green Seeker, obteniendo un promedio por cada unidad experimental.

Índice de clorofila: se determinó utilizando un clorofilómetro electrónico, marca FALKER ClorofiLOG modelo CFL 1030. La lectura fue realizada en el estadio R2, 10 días después de la aplicación del bioestimulante de aplicación vía foliar en estadio reproductivo, en cinco plantas al azar del área útil, en el tercer foliolo abierto, obteniendo valores del índice de clorofila mediante la relación de absorción de tres bandas de frecuencia de luz.

b) Componentes del rendimiento de la soja

Los componentes del rendimiento se evaluaron al momento de la cosecha. Estas variables incluyen número de vainas por planta, número de granos por vaina, número de granos por planta, peso de mil granos y rendimiento de granos.

Número de vainas por planta: se extrajeron plantas al azar del área útil y se procedió al conteo de número de vainas, obteniendo un promedio que representa al número de vainas por planta.

Número de granos por vaina: se procedió al conteo de número de granos de cada vaina de plantas del área útil, obteniendo un promedio que representa al número de granos por vaina.

Número de granos por planta: se procedió al conteo de granos de las plantas extraídas de cada área útil, obteniendo un promedio que represente al número de granos por planta.

Rendimiento de granos: fue cosechada la totalidad del área útil y se determinó el peso de la producción en una balanza digital, ajustando la humedad de granos al 13% y extrapolando los resultados a kg ha^{-1} .

Peso de mil granos: se extrajeron al azar del total de granos del área útil de cada parcela, 100 granos, haciendo tres repeticiones y se determinó su peso en una balanza digital, luego se obtuvo un promedio el cual fue extrapolado a la cantidad de mil granos. Los resultados fueron expresados en gramos.

3.4.2 Experimento en invernadero

Las variables evaluadas en el experimento en invernadero consisten en parámetros de crecimiento de la parte aérea de la soja y variables relacionadas a la raíz y nodulación. La evaluación se realizó en el estadio R5.

Número de nódulos por planta: se determinó mediante el conteo directo de los nódulos de la raíz. Los resultados expresados en número de nódulos por planta.

Masa seca de nódulos: se llevaron los nódulos a estufa para su secado a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 72 horas. Posteriormente se determinó el peso mediante una balanza analítica de precisión. Los resultados fueron expresados en gramos por planta.

Masa seca de raíces: una vez extraídos los nódulos se colocaron las raíces en estufa, a 60 °C durante 72 horas. Posteriormente se determinó el peso mediante una balanza analítica de precisión. Los resultados fueron expresados en gramos por planta.

Materia seca de la parte aérea: se realizó el corte a la altura del cuello y luego fueron colocados en una bolsa previamente identificada. Para su secado se procedió de forma similar que la variable anterior. Los resultados fueron expresados en gramos por planta.

3.5 Análisis estadístico

Las medias de las variables evaluadas en el experimento fueron sometidas al análisis de varianza ANAVA, si cumplieron con los supuestos para su validez y si hubo significancia, los datos se sometieron a prueba de comparación de medias por el Test de Scott & Knott al 10% de probabilidad de error, también se realizó la prueba de contrastes entre tratamientos. Para el análisis de varianza se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los siguientes puntos se presentan los resultados correspondientes al experimento a campo y en macetas bajo invernadero. La tabla general de datos del experimento se presenta en los Anexos 14 y 15.

4.1 Experimento a campo

4.1.1 Parámetros de crecimiento de la soja

En la Tabla 4, se presentan los valores medios del NDVI, índice de clorofila, materia seca de la parte aérea y altura de plantas. Fueron observadas diferencias significativas con relación a los tratamientos en las variables NDVI y altura de plantas (Anexo 16).

Tabla 4. NDVI, índice de clorofila (IC), materia seca aérea (MSA) y altura final de plantas (AP) en función a la aplicación de bioestimulantes. Minga Guazú, Paraguay, 2019.

Tratamientos	NDVI	IC	MSA (kg ha ⁻¹)	AP (cm)
1. Testigo (sin bioestimulante)	0,79 b	47,17 ns	8290 ns	63,93 b
2. BioTS	0,79 b	47,14	8568	63,00 b
3. BioV	0,78 b	47,04	8302	62,75 b
4. BioR	0,79 b	47,09	8334	63,68 b
5. BioTS + BioV	0,80 a	46,18	8448	69,43 a
6. BioV + BioR	0,81 a	47,23	8435	67,75 a
7. BioTS + BioR	0,78 b	45,85	7824	60,78 b
8. BioTS + BioV + BioR	0,80 a	47,68	8599	64,25 b
CV (%)	1,44	3,80	6,50	3,80

Medias seguidas por diferentes letras difieren entre sí por el test de Scott & Knott ($p > 0,10$). ns: no significativo. CV: coeficiente de variación

Con relación al NDVI, los tratamientos 5, 6 y 8 (Tabla 4) presentaron las mayores medias, las cuales fueron superiores al testigo y a los tratamientos (2, 3, 4 y 7) que no difirieron entre sí, arrojando un promedio de 0,78, obteniéndose un incremento del 3,8% con relación al testigo.

Se verifica que la totalidad de tratamientos que ejercieron influencias significativas contaban con bioestimulante (BioV) aplicados en sucesión con otros bioestimulantes (Tratamiento 5, 6 y 8), indicando la implicancia del BioV en esta variable; sin embargo, la aplicación aislada del BioV (Tratamiento 3) no fue suficiente para producir incrementos significativos, evidenciando la acción conjunta de los mimos.

Si bien la diferencia numérica entre los valores del NDVI no fue muy amplia (diferencia entre valor máximo y mínimo igual a 0,03), fue suficiente para denotar diferencias estadísticas significativas ($p > 0,10$). Esto se debe en cierta parte a una baja variación entre las medias (CV: 1,44) y el reducido rango de variación del NDVI utilizado en agricultura (-1 al 1) (Gutiérrez et al. 2011).

Los valores del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) puede indicar la incidencia de estrés en cultivos como también el estado nutricional y fisiológico, mediante mediciones de luz reflejadas por éstas. Los valores altos (0,7-0,8) son indicadores de plantas en buenas condiciones. Valores de 1 son registrados con la densidad más alta posible de hojas, y suelos descubiertos presentan valores de 0,1 a 0,2. (Lan et al. 2009, Gutiérrez 2011).

La incidencia del BioV puede estar sujeto a la mitigación de estrés abiótico ocasionado por un déficit hídrico (Ver Figura 2) y daños por herbicidas. Según Saes et al. (2010) el glifosato interfiere en la síntesis de aminoácidos aún en cultivares resistentes. La suplementación con aminoácidos exógenos contribuye en la recuperación de efectos adversos del herbicida. Baso et al. (2011) menciona que el amarillamiento de la soja RR posterior a la aplicación de glifosato puede estar asociado a la deficiencia momentánea de Manganeso.

Dranca et al. (2018), constataron fitotoxicidad leve en soja 7 DDA de glifosato en un 5% de acuerdo con la escala de notas visuales según criterios de la SBCPD (1995), los cuales desaparecían a los 14 DDA (0% de fitotoxicidad), al igual que Correia et al. (2008), que encontraron síntomas leves de fitotoxicidad en soja tratadas con glifosato que desaparecían 14 DDA. Con la aplicación de este bioestimulante Dranca et al. (2018) lograron reducir la fitotoxicidad a 3% a los 7 DDA y como era de esperarse, la fitotoxicidad a los 14 DDA era 0% al igual que el tratamiento sin bioestimulante.

Nascimento (2014), obtuvo incrementos significativos en el NDVI en trigo con dosis biofertilizantes compuesto por aminoácidos y nutrientes esenciales aplicados vía foliar, donde constató incrementos del 5,5 y 8,7% para dos localidades del estado de Rio Grande do Sul, Brasil, obteniendo resultados similares a este experimento.

En la altura de plantas se obtuvo un comportamiento similar al NDVI (Tabla 4), donde el BioV aplicado en sucesión con el BioTS y BioR presentó incrementos significativos del 8,60 y 5,97% en con relación al testigo sin aplicación de bioestimulantes. La aplicación secuencial de bioestimulantes con ausencia del BioV (BioTs + BioR) y a la aplicación aislada de estos (Tratamientos 2, 3 y 4) no presentaron incrementos significativos evidenciando nuevamente la incidencia del BioV y la acción conjunta de estos. Por otra parte, la aplicación secuencial de tres bioestimulantes (BioTs + BioV + BioR) no fueron estadísticamente diferente al testigo.

Bertolin et al. (2010) evaluaron momentos de aplicación de un bioestimulante compuesto por citoquinina, ácido indol butírico y ácido giberélico, en aplicación vía semillas y foliar en soja y encontraron incrementos en la altura de plantas. De la misma forma Korner et al. (2015) obtuvieron incrementos significativos en la altura de plantas con la aplicación bioestimulantes compuestos por aminoácidos, macro y micronutrientes.

De acuerdo con Amaral et al. (2008), los bioestimulantes favorecen el crecimiento y el desarrollo vegetal, debido a que estimulan los procesos de división, diferenciación y alargamiento celular.

El índice de clorofila y materia seca de la parte aérea no fueron influenciados por la aplicación de bioestimulantes (Tabla 4), obteniendo medias de 46,92 IC y 8.350 kg ha⁻¹, respectivamente. De la misma forma Queiroz et al. (2014), no encontraron respuestas significativas en el cultivo de poroto para la masa seca aérea y el índice de clorofila. Baldo et al. (2009) también constataron que la aplicación vía semilla y foliar de bioestimulantes en el cultivo de algodón no influenciaron en el aumento de la masa seca de la parte aérea.

Dranca et al. (2018), evaluando el tenor de clorofila a los 7, 14, 21, 28 y 42 DDA del herbicida glifosato y un bioestimulante con composición similar al utilizado en este experimento, constataron incrementos en el tenor de clorofila recién a los 21 DDA al utilizar la mezcla del herbicida con el bioestimulante manteniéndose significativo hasta los 28 DDA. En este experimento el índice de clorofila se determinó a los 10 DDA. La baja respuesta en el índice de clorofila puede estar sujeto al periodo de evaluación, ya que son encontrados mayores efectos en periodos más distantes a la aplicación de los tratamientos.

4.1.2 Componentes productivos de la soja

Las medias de número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de mil granos y rendimiento de granos se presentan en la Tabla 5. Fueron observadas diferencias estadísticas significativas en el número de vainas por planta (Anexo 17)

Tabla 5. Número de vainas por planta (NVP), número de granos por vaina (NGV), peso de mil granos (PMG) y rendimiento de granos (REN) en función a la aplicación de bioestimulantes. Minga Guazú, Paraguay, 2019.

	Tratamientos	NVP	NGV	PMG (g)	REN (kg ha ⁻¹)
1.	Testigo (sin bioestimulante)	55,2 b	2,75 ns	146,7 ns	4329 ns
2.	BioTS	64,5 a	2,35	149,0	4807
3.	BioV	58,5 b	2,58	143,6	4263
4.	BioR	61,2 b	2,6	146,2	4517
5.	BioTS + BioV	67,0 a	2,25	153,8	4578

Continuación...

6.	BioV + BioR	61,5 b	2,68	148,8	4614
7.	BioTS + BioR	63,7 a	2,55	143,0	4429
8.	BioTS + BioV + BioR	66,5 a	2,55	145,4	4889
CV (%)		8,60	11,06	3,68	7,95

Medias seguidas por diferentes letras difieren entre sí por el test de Scott & Knott ($p > 0,10$). ns: no significativo. CV: coeficiente de variación

En cuanto al número de vainas por planta, los tratamientos 2, 4, 7 y 8 presentaron las mayores medias (Tabla 5), las cuales fueron estadísticamente superiores a los demás tratamientos y al testigo sin aplicación de bioestimulantes. Se puede observar que la totalidad de tratamientos que ejercieron influencias significativas contaban con el bioestimulante BioTS aplicado en forma aislada y en sucesión con otros bioestimulantes, evidenciando su influencia en esta variable.

La aplicación del BioTS en forma aislada (Tratamiento 2) proporcionó un incremento del 16,4% en el número de vainas con relación al testigo sin aplicación de bioestimulante, la aplicación del BioTS + BioR produjo un incremento del 15,3%, el BioTS + BioV un 21,3% y la aplicación de los tres bioestimulantes un incremento del 20,4%. Si bien la aplicación aislada del BioTS fue estadísticamente igual a la aplicación sucesiva con otros bioestimulantes se puede observar un incremento del 3,87% en el número de vainas cuando este es aplicado en forma combinada.

En esta investigación se esperaba que el bioestimulante BioR, tuviera una mayor participación en los componentes productivos, debido a que este bioestimulante es aplicado en un momento clave al inicio de la etapa reproductiva. Un factor que pudiera haber afectado la eficiencia del BioR es la presencia de una precipitación de 16,4 mm, corroborados por datos de (DMH 2019), entre el segundo y tercer día posterior a la aplicación del bioestimulante pudiendo haber ocasionado un lavado del producto. Según Fernández y Sotiropoulos (2015), la presencia de lluvias posterior a una pulverización foliar puede lavar rápidamente el tratamiento recién aplicado.

En investigaciones llevadas a cabo por Bertolin et al. (2010), constataron incrementos del 25% en el número de vainas de soja con aplicación de bioestimulantes vía semilla y 26% con aplicaciones foliares; sin embargo, estos no difirieron entre sí.

En el número de granos por vaina y el peso de mil granos no fueron observados diferencias significativas con la aplicación de bioestimulantes (Tabla 5), obteniéndose medias de 2,53 granos vaina⁻¹ y 147 g, respectivamente.

De la misma forma Korner et al. (2015), evaluando un bioestimulante a base de aminoácidos y macro y micronutrientes en el cultivo de soja, no encontraron respuestas significativas en el número de granos por planta y peso de mil granos. Estos resultados también corroboran Prieto et al. (2017), Albrecht et al. (2011), Bertolin et al. (2010), quienes no observaron diferencias significativas en la masa de mil granos con la aplicación bioestimulantes a base de fitorreguladores (ácido indolbutírico, citocinina y ácido giberélico).

Respecto al rendimiento de granos (Tabla 3), si bien no se observó diferencias estadísticas (media de 4.533 kg ha⁻¹), se verifica importantes incrementos con la aplicación de bioestimulantes, donde se destacan los tratamientos en donde fueron aplicados los tres bioestimulantes (BioTS + BioV + BioR) y el bioestimulante aplicado en semilla (BioTS), los cuales presentaron las mayores medias, superando en un 13 y 11% al testigo, lo que equivale a incrementos de 560 y 478 kg ha⁻¹, esta influencia se puede evidenciar al realizar una prueba de contrastes (Figura 3), donde los contrastes 1 y 2 fueron significativos al 7,9% y 4% de probabilidad de error.

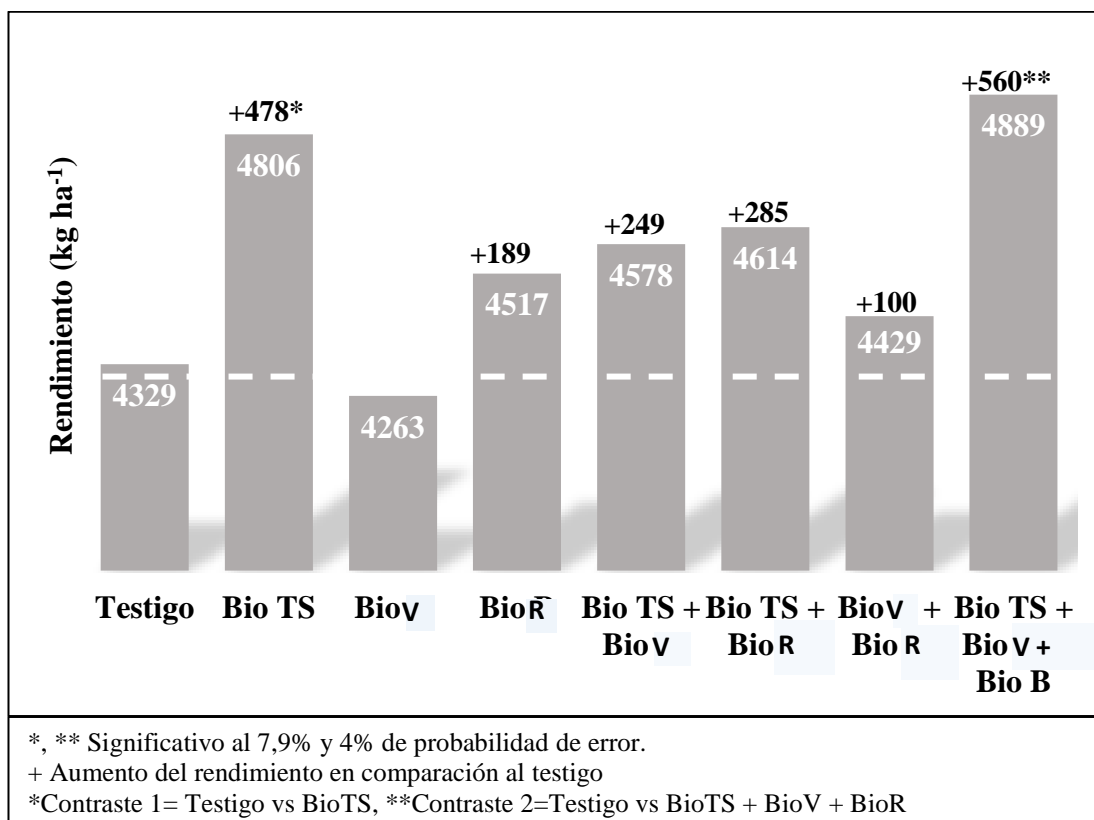


Figura 3. Rendimiento de granos en función a la aplicación de bioestimulantes. Mínga Guazú, Paraguay, 2019.

El número de vainas por planta fue la variable que mejor explica los incrementos obtenidos en el rendimiento de granos, en donde el bioestimulante de aplicación en semilla (BioTS) presentó una marcada influencia en el rendimiento de granos, lográndose un incremento medio de 9% con los tratamientos que recibieron el BioTS en comparación al testigo, y su efecto fue maximizado con la aplicación sucesiva con otros bioestimulantes, puesto que se logró incrementar en un 3,87% en el número de vainas cuando es aplicado con otros bioestimulantes (BioV + BioR), como se describió anteriormente.

Los efectos positivos de tratamientos de semillas con bioestimulantes también fueron constatados por Albrecht et al. (2011), quienes obtuvieron incrementos significativos en el número de vainas y productividad de granos con esta práctica. Según los autores, plantas bien desarrolladas, favorecen el crecimiento y desarrollo vegetativo, creando condiciones adecuadas para la mejora de las características agronómicas y productividad del cultivo.

Bertolin et al. (2010), obtuvieron incrementos significativos del 40 y 37 % en el rendimiento de granos de soja con aplicación de bioestimulantes para aplicaciones vía semillas y foliar. Estos resultados también corroboran Braccini et al. (2005) quienes también obtuvieron incrementos significativos en el rendimiento de granos del cultivo de soja.

Santos et al. (2015), encontraron incrementos del 9% en el rendimiento con un bioestimulante similar al utilizado en este experimento; sin embargo, los mismos aplicaron en el estadio R4.

4.2 Experimento en macetas bajo invernadero

4.2.1 Parámetros de crecimiento y componentes productivos de la soja

En la Tabla 6, se presentan las medias de masa seca aérea, número de nudos por planta, índice de clorofila, número de vainas por planta y número de granos por planta. No se registraron diferencias estadísticas significativas con la aplicación de bioestimulantes para dichas variables (Anexo 18).

Tabla 6. Masa seca aérea (MSA), índice de clorofila (IC), número de nudos por planta (NUDP), número de vainas con granos por planta (NVP) y número de granos por planta (NGP) en función a la aplicación de bioestimulantes. Minga Guazú, Paraguay, 2019.

Tratamientos	MSA (g)	IC	NUDP	NVP	NGP
1. Testigo (sin bioest.)	7,89 ns	46,76 ns	8,2 ns	19,5 ns	38,4 ns
2. BioTS	7,54	47,86	8,2	20,4	37,6
3. BioV	8,20	48,36	8,3	20,1	37,7
4. BioTS + BioV	7,54	48,58	8,3	18,7	36,4
CV (%)	14,37	4,44	3,41	11,33	10,24

ns: no significativo por el test de Scott & Knott ($p > 0,1$). CV: coeficiente de variación

La masa seca aérea, índice de clorofila, número de nudos por planta, número de vainas con granos y número de granos por planta (Tabla 6) presentaron medias de 7,79 g por planta, 47,89 IC, 8,25; 19,67 y 37,52 unidades por planta, respectivamente. Las medias obtenidas en este experimento son inferiores a la obtenida en el experimento a

campo, debido a que las mismas fueron evaluadas antes de la madurez fisiológica, en el estadio R5.

A diferencia del experimento en invernadero, en el experimento a campo se obtuvieron incrementos significativos en el número de vainas por planta y NDVI, si bien esta última no fue evaluada en este experimento, la misma presenta una alta relación y directamente proporcional con el número de nudos evaluados en este experimento.

La baja respuesta de los bioestimulantes (BioTS, BioV) en los parámetros de crecimiento y componentes productivos de la soja en invernadero, nos otorga una importante información, ya que nos da indicios que las respuestas obtenidas a campo son resultado de plantas más tolerantes a los estreses abióticos, tanto para condiciones climáticas adversas y daños causados por herbicidas, puesto que este experimento se realizó en condiciones controladas y no se aplicaron herbicidas.

De acuerdo con Albrecht et al. (2011), la utilización de bioestimulantes podrían contribuir a mitigar los efectos negativos de las condiciones estresantes del medio, repercutiendo directamente en la productividad del cultivo. Este efecto puede explicarse en la composición de los bioestimulantes utilizado en esta investigación, ya que están compuesto por aminoácidos (Glicina-Betaína), Fitohormonas (Zeatina) y, Ácidos Húmicos y Fúlvicos.

Según Santos et al. (2015), las moléculas orgánicas humificadas pueden asociarse a otros compuestos orgánicos como los aminoácidos mejorando la tolerancia de la planta contra el estrés abiótico causado por herbicidas o condiciones climáticas adversas.

Por otro lado, Agboma et al. (1997), mencionan que existen evidencias de que la soja podría clasificarse como un bajo acumulador de glicinabetaína. La acumulación de estos compuestos permite el mantenimiento y/o la estabilización de la turgencia de proteínas y membranas contra efectos desestabilizadores de estreses abióticos

incluyendo salinidad, sequía y temperatura extremos, todos los cuales causan el agotamiento del agua celular (Demiral y Turkan 2006).

4.2.2 Desarrollo de raíces y formación de nódulos

Las medias de masa seca de la raíz, número de nódulos por planta y masa seca de nódulos se presentan en la Tabla 7. No se observaron diferencias estadísticas significativas con la aplicación de bioestimulantes (Anexo 19).

Los valores medios obtenidos en el número de nódulos por planta, masa seca de nódulos y masa seca de raíces fueron 16,87 unidades, 0,21 y 1,38 g planta⁻¹, respectivamente.

Tabla 7. Número de nódulos por planta (NODP), masa seca de nódulos (MSN) y masa seca de la raíz (MSR). Minga Guazú, Paraguay, 2019.

	Tratamientos	NODP	MSN (g)	MSR (g)
1.	Testigo (sin bioest.)	16,6 ns	0,18 ns	1,45 ns
2.	BioTS	15,0	0,18	1,29
3.	BioV	17,4	0,24	1,39
4.	BioTS + BioV	18,5	0,24	1,41
	CV (%)	15,54	29,47	18,08

ns: no significativo por el test de Scott & Knott ($p > 0,1$). CV: coeficiente de variación

El coeficiente de variación observado en la masa seca de nódulos (MSN) fue el más alto en esta investigación (CV=29,47). Souza et al. (2008) mencionan que el número y masa seca de nódulos son considerados de alta variación y un coeficiente de variación aceptable para la masa seca de nódulo debe ser de $< 33\%$, por otro lado el número de nódulos presentó un CV de 15,54, clasificado como medio, por lo tanto los CVs para los parámetros de nodulación están dentro de una faja aceptable.

En investigaciones realizados por Santos et al. (2015), encontraron incrementos significativos en desarrollo radicular, contrarios a lo obtenido en este experimento, evidenciados por un aumento del 26% de la longitud de raíces utilizando

bioestimulante similar al de este experimento aplicado en etapa vegetativa junto con herbicidas. Por otro parte, los autores presenciaron un estrés hídrico ocasionado por un periodo de 27 días sin lluvias. Estas condiciones fueron diferentes al de este experimento, pues en este experimento fue aplicado riego de acuerdo con las necesidades del cultivo y no se aplicaron herbicidas. Lo cual puede explicar la baja respuesta encontrada.

Por otro lado, Korner et al. (2015), no observaron diferencias significativas en la longitud de raíces con aplicación de bioestimulantes en semillas, a base de aminoácidos y, macro y micronutrientes. Sin embargo, obtuvieron incrementos significativos en la masa fresca aérea, lo cual difiere a lo obtenido en esta investigación. Cabe resaltar que dicho experimento se realizó en macetas a campo abierto, lo cual pudo haber influenciado en una mayor respuesta del bioestimulante al estar la planta expuesta a condiciones más desfavorables.

Zobiole et al. (2010), constataron que los parámetros de nodulación, biomasa seca de la raíz y aérea fueron afectados por la aplicación de glifosato. Según Reddy et al. (2004), la reducción de la biomasa aérea y de raíz puede ser asociado a una acumulación del primer metabolito fitotóxico del glifosato, conocido como AMPA (ácido aminometilfosfónico). Zobiole et al. (2010), mencionan que la aplicación de productos a base de aminoácidos vía tratamiento de semilla acompañado con pulverización foliar puede ser una estrategia para mitigar los efectos negativos ocasionados por herbicidas en cultivos de soja RR.

5. CONCLUSIÓN

En las condiciones en que se realizaron los experimentos y de acuerdo con los objetivos propuestos se concluye que:

La aplicación de bioestimulantes influye en algunos parámetros de crecimiento y productividad de la soja. Lográndose incrementos del 3,8; 8,6; 21,3 y 12,9 % en el NDVI, altura de plantas, número de vainas y rendimientos de granos

Realizando aplicaciones secuenciales de bioestimulantes se obtienen mejores resultados, siendo la combinación del BioTS + BioV la más eficiente para las variables de NDVI, altura de plantas y número de vainas. Por otro lado, la aplicación de tres bioestimulantes (BioTS + BioV + BioR) resultó en una mayor productividad, lográndose un rendimiento de 4.889 kg ha⁻¹, superando al testigo que presentó una media de 4.329 kg ha⁻¹.

Los bioestimulantes no influyeron en las plantas de soja en las condiciones controladas del invernadero, esto resulta en una información útil ya que nos permite comprender que la influencia de los bioestimulantes a campo se debe a su capacidad de mitigar el estrés ocasionado por las condiciones climáticas adversas y daños por herbicidas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, G; Bogiani, J; Da Silva, Gazola, E; Rosolem, C. 2008. Tratamento de sementes de soja com inseticidas e um bioestimulante (en línea). Consultado 17 jun. Disponible en <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/5350/S0100-204X2008001000008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.43, n.10, p.1311-1318.
- Aflen, CK. 2005. Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) a ação de bioestimulante. Tesis presentada al Centro de Ciências Agrarias de la Universidade Estadual do Oeste do Paraná, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Paraná, Brasil. 57 p.
- Agboma, PC; Sinclair, TR; Jokinen, K; Peltonen-Sainio, P; Pehu, E. 1997. An evaluation of the effect of exogenous glycinebetaine on the growth and yield of soybean: timing of application, watering regimes and cultivars (en línea). *Field Crops Research* 54 (1): 51-64. Consultado 22 may. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429097000403>
- Albrecht, L; Braccini, A; Scapim, C; Avila, M; Albrecht, AP; Ricci. 2011. Manejo de biorregulador nos componentes de produção e desempenho das plantas de soja (en línea). *Uberlândia*, v. 27, n. 6, p. 865-876. Consultado 24 may. 2019. Disponible en <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7486/8110>.
- Ashraf, M; Foolad, MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance (en línea). *Environmental and Experimental Botany* 59(2): 206-216. Consultado 21 may. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Atiyeh, RM; Lee, S; Edwards, CA; Arancon, NQ; Metzger, JD. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth (en línea). *Bioresource Technology* 84 (1): 7-14. Consultado 18 may. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852402000172>
- Basak, A. 2008. Bioestimulators: definitions, classification and legislation. In Gawronsaka, H. *Bioestimulators in modern agriculture: general aspects* (en línea).

- Consultado 16 may. 2018. Disponible en <http://asahisl.pl/bio/%20ASPECTS.pdf#page=8>
- Basso, CJ; Santi, AL; Pinto, FL; Girotto, E. 2011. Aplicação foliar de manganês em soja transgênica tolerante ao glyphosate (en línea). *Ciência Rural* 41 (10): 1726-1731. Consultado 25 jul. 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/331/3-3119857003.pdf>
- Beltrame, LC. 2009. Eficiência do uso de fertilizantes, fungicidas e inoculante no tratamento de sementes de soja. Tese apresentada a Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz” da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Piracicaba, BR. 63 p. Consultado 7 jun. 2018. Disponible en <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-10112009-090808/pt-br.php>
- Benitez, V; Polidoro, JC; Menezes, CCE; Betta, M. 2007. Aplicação foliar de soluções de ácidos húmicos sobre a produtividade de soja. In Resumos da XXIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil (en línea). Campo Grande, BR. 250 p. Consultado 20 may. 2018. Disponible en https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO200909/27822/1/resumos_rpsrcb_2007.pdf#page=185
- Bertolin, DC; Desá, ME; Arf, O; Furlani Junior, E; Colombo, AS; Melo, FLB. 2010. Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes (en línea). *Revista Brasileira de Agronomia* 69 (2): 339-347. Consultado 10 may. 2018. Disponible en <https://www.agrolink.com.br/downloads/120374.pdf>
- BIRF (Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento). 2014. Análisis de riesgo del sector agropecuario: identificación, priorización, estrategia y plan de acción (en línea). Consultado 11 may. 2018. Disponible en <http://www.stp.gov.py/cooperacion/giz/wp-content/uploads/2016/05/B-1BMAAna-%CC%81lisis-de-riesgo-de-sector-agropecuario.pdf>
- Bonilla, I. 2008. Introducción a la nutrición mineral de las plantas: los elementos minerales. In Azcon-Bieto, J; Talón, M. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2 ed. Madrid, ES. 669 p
- Braccini, A; Monferdini, M; Ávila, M; Scapin, C; Brambilla, D; Aragão, R; Brambilla, T. 2005. Emergência das plantulas e componentes da producao de sementes em resposta a diferentes doses e formas de aplicacao do bioestimulante Stimulate 10X na cultura da soja. In Resumos da XXVII Reuniao de Pesquisa de S0/a da Reg/50 Central do Brasil (en línea). Brasil, BR. p. 565-567. Consultado 4 jul. 2019. Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161411/1/ID-25444-final.pdf>.
- Cakmak, I; Yazici, A; Tutus, Y; Ozturk, L. 2009. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean (en línea). *European Journal of Agronomy* 31 (3): 114-119.

- Consultado 15 jul. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030109000665>
- CAPECO (Cámara paraguaya de exportadores y comercializadores de cereales y oleaginosas). 2018. Área de siembra, producción y rendimiento (en línea). Consultado 12 may. 2018. Disponible en <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>
- Carvalho, JC; Viecelli, CA; Kotta, D. 2013. Produtividade e desenvolvimento da cultura da soja pelo uso de regulador vegetal (en línea). Acta Iguazu 2 (1): 50-60. Consultado 5 jun. 2018. Disponible en <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/8166/6035>
- Castro, P; Vieira, L. 2001. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical. Guaíba: Agropecuária, 2001. 132p (en línea). Consultado 15 may. 2018. Disponible en <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/>
- Cerdeira, A; Gazziero, D; Duke, S; Matallo, M; Spadotto, C. 2007. Review of potential environmental impacts of transgenic glyphosate-resistant soybean in Brazil (en línea). Journal of Environmental Science and Health Part B (2007) 42, 539–549. Consultado 20 jul. 2019. Disponible en <http://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1080/03601230701391542>.
- Cobucci, T; Ruck, FJW; Silva, JG. 2005. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às aplicações de bioestimulantes e complexos nutritivos. In Congreso Nacional de Pesquisa de Feijão. Goiânia, BR. p. 1078-1081. (en línea). Consultado 31 may. 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/228850628_Resposta_do_feijoeiro_Phaseolus_vulgaris_L_as_aplicacoes_de_bioestimulante_e_complexos_nutritivos
- Constantin, J; Oliveira, R; Gheno, E; Biffe, D; Pereira, G; Weber, F; Kagueyama, H. 2016. Prevention of yield losses caused by glyphosate in soybeans with biostimulant (en línea). Afr. J. Agric. Res. Vol. 11(18), pp. 1601-1607. Consultado 10 may. 2019. Disponible en <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/22BDF5B58371>.
- Correia, N; Durigan, J; Leite, G. 2008. Seletividade da soja transgênica tolerante ao glyphosate e eficácia de controle de *Commelina benghalensis* com herbicidas aplicados isolados e em misturas (en línea). Bragantia, Campinas, v.67, n.3, p.663-671. Consultado 13 jul. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/brag/v67n3/a15v67n3.pdf>.
- Dechen, AR; Ribeiro, G. 2006. Micronutrientes. In Fernandez, MS. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, BR. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 328-354. Consultado 3 jun. 2018. Disponible en <https://www.scribd.com/doc/114276604/Micronutrientes-Nutricao-Mineral-de-Plantas-FERNANDES-M-S-SBCS>

- Demiral, T; Turkan, I. 2006. Exogenous glycinebetaine affects growth and proline accumulation and retards senescence in two rice cultivars under NaCl stress (en línea). *Environmental and Experimental Botany* 56 (1):72-79. Consultado 23 may. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009884-7205000067>
- Dranca, A; Helvig, E; Maciel, C; Carbonari, C; Velini, E. 2018. Associações de herbicidas com fertilizante foliar e regulador vegetal em soja (en línea). *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava-PR, v.11, n.3, p.69-80. Consultado 5 jun. 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/330604842_Associacoes_de_herbicidas_com_fertilizante_foliar_e_regulador_vegetal_em_soja.
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation (en línea). *Scientia Horticulturae* 196: 3-14. Consultado 13 may 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S03044238153-01850>
- Franco, D; Almeida, S; Cerdeira, A; Duke, S; Moraes, R; Lacerda, A; Matallo, M. 2012. Avaliação do uso de glyphosate em soja geneticamente modificada e sua relação com o Ácido chiquímico (en línea). *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 659-666. Consultado 19 jul. 2019. Disponible en <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/67900/1/2012AP24.pdf>.
- Freitas, G; Weber, F; Martins, A; Silva, J; Silva, R. 2018. Fertiact yl® pós na redução da fitotoxidez do herbicida roundup ready® na cultura da soja (en línea). *Rev. Agro. Amb.*, v. 11, n. 1, p. 99-116. Consultado 21 jul. 2019. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/324360239>.
- Garcia, FO; Ciampitti, IA; Baigorri, H. 2009. Manual de Manejo del cultivo de soja. International Plant Nutrition Institute. Buenos Aires, AR. 165 p.
- Guerra, CA; Marchetti, ME; Dias, AR; Ferreira, LC; Gonçalves, MC; Novelino, JO. 2006. Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto (en línea). *Maringá* 28 (1): 91-97. Consultado 6 jun. 2018. Disponible en <http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/viewFile/1678/1043>
- Gutiérrez, M; Cadet, E; Rodríguez, W; Araya, J. 2011. El Greenseeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. *Agronomía Mesoamericana* 22(2). p 397-403.
- Hartz, TK; Bottoms, TG. 2010. Humic Substances Generally Ineffective in Improving Vegetable Crop Nutrient Uptake or Productivity (en línea). *HortScience* 45(6):906–910. Consultado 19 may. 2018. Disponible en <http://hortsci.ashspublications.org/content/45/6/906.full.pdf+html>
- Heuer, B. 2003. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on

- growth of salt-stressed tomato plants (en línea). *Plant Science* 165 (4): 693-699. Consultado 24 may. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016894520300222X>
- Huespe, H; Spinzi, L; Curiel, MV; Burgos, S; Rodas, O. 1995. Atlas ambiental de la Región Oriental del Paraguay. San Lorenzo, PY : CIF, FCA, UNA/GTZ.
- Judd, WS; Campbell, CS; Kellogg, EA; Stevens, PF; Donoghue, MJ. 2009. *Sistemática Vegetal: un enfoque filogenético* (en línea). 2 ed. Porto Alegre, BR. 632 p. Consultado 2 jun. 2018. Disponible en http://www.academia.edu/19770732/JUDD_et_al-2009Sistem%C3%A1tica_vegetal_um_enfoque_filogen%C3%A9tico-3ed
- Kahn, W; Rayirath, UP; Subramian, S; Jithesh, MN; Rayorath, P; Hodges, M; Critchley, AT; Craigie, JS; Norrie, J; Prithiviraj, B. 2009. Seaweed extracts as bioestimulants of plant growth and development. *Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture*. 27. 270-279
- Koner, E; Numes, J; Ditzel, J. 2015. Influência do bioestimulante no enraizamento e produtividade da soja (en línea). *Rev. Cultivando o saber. ed. especial*, p. 35-45. Consultado 10 may. 2018. Disponible en https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/566ec37d601a3.pdf.
- López, O; González, E; Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Ríos, E. 1995. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay. Consultado 20 jun. 2018 (en línea). Disponible en <http://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>
- Maldonado, L. 2015. Producción de soja en Paraguay (en línea). Asunción, PY. 34 p. Consultado 5 jun. 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/282657237_PRODUCION_DE_SOJA_EN_EL_PARAGUAY
- Marcondes, JAP; Caires, EF. 2005. Aplicação de molibdênio e cobalto na semente para cultivo da soja (en línea). *Bragantia* 64 (4): 687-694. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/0D/brag/v64n4/a19v64n4.pdf>
- Mascarenhas, H; Esteves, J; Wutke, E; Gallo, P. 2014. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo (en línea). *Nucleus*, v.11, n.1, 20 p. Consultado 12 abr. 2019. Disponible en https://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/arquivos/-artigos/mascarenhas_3.pdf.
- Mazzilli, S. 2011. Evaluación de la respuesta a la aplicación de micronutriente en soja sobre el rendimiento de grano (en línea). Consultado 27 may. 2018. Disponible en http://www.lageycia.com/archivos/research_72_file.pdf

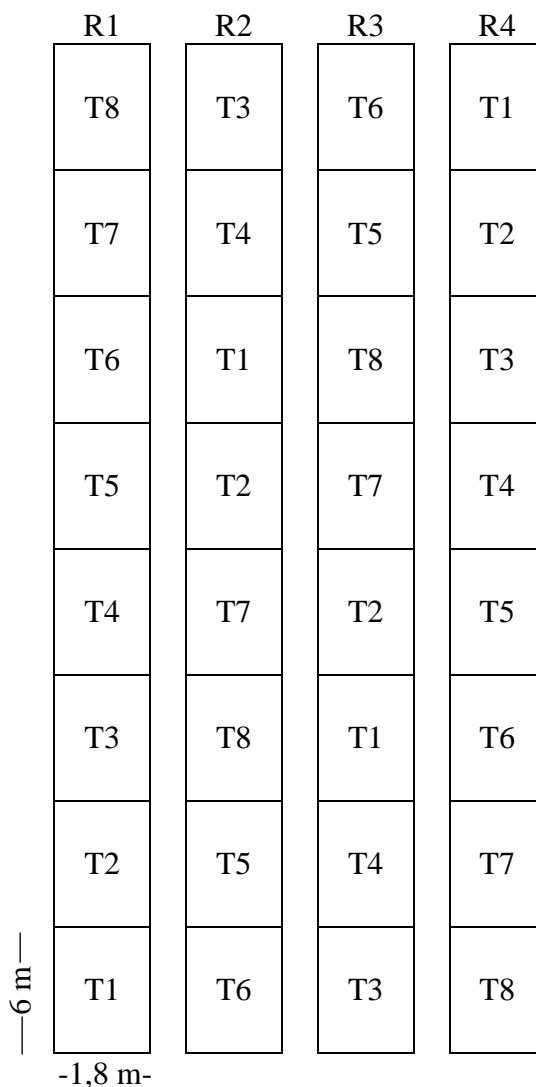
- Medina, R; González, AL; Rasche, JW. 2015. Fertilización foliar con boro en soja. In I Congreso paraguayo de ciencia del suelo y IV Simposio de manejo y conservación de suelos. FCA-UNA. San Lorenzo, Py. 242 p.
- Molina, E. 2002. Fuentes de fertilizantes foliares. In Meléndez, G; Molina, E. eds. Fertilización foliar: principios y aplicaciones (en línea). Costa Rica, CR. p. 110-124. Consultado 17 may. 2018. Disponible en <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>
- Musskopf, C; Bier, VA. 2010. Efeito da aplicação de fertilizante mineral cálcio e boro via foliar na cultura da soja (Glycine Max). *Cascavel* 3 (4): 83-91. Consultado 28 may. 2018. Disponible en https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/592c4c1ea18a3.pdf
- Nascimento, M. 2014. Fertilizante foliar em associação com fungicida em trigo (en línea). Tesis presentado a la Universidad Federal de Santa María para obtención del título de Mestre em Agronomia. Rio Grande do Sul, Brasil. 122 p
- Peruchi, M. 2009. Aplicação de fontes de boro e zinco via foliar em culturas anuais. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de concentração: Sistemas de Produção.
- Prieto, C; Rasche, J; Karajallo, J; Aguayo, S. 2017. Bioestimulante, biofertilizante e inoculação de sementes no crescimento e produtividade da soja (en línea). *Rev. de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS*, v. 4, n. 2, p 1-8. Consultado 20 may. 2018. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/327783463>.
- Rathore, SS; Chaudhary, DR; Boricha, GN; Ghosh, A; Bhatt, BP; Zodape, ST; Patolia, JS. 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (Glycine max) under rainfed conditions (en línea). *South African Journal of Botany* 75 (2): 351-355. Consultado 4 Jun 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629908003153>
- Reddy, K; Rimando, A; Duke, S. 2004. Aminomethylphosphonic Acid, a Metabolite of Glyphosate, Causes Injury in Glyphosate-Treated, Glyphosate-Resistant Soybean (en línea). *Agric. Food Chem.* 52, p. 5139-5143. Consultado 4 jul. 2019. Disponible en <http://sci-hub.tw/10.1021/jf049605v>. J.
- Rerkasem, B; Jamjod, S. 1997. Genotypic variation in plant response to low boron and implications for plant breeding (en línea). *Plant and soil* 193 (2): 169-180. Consultado 1 jun 2018. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1004220226977>.
- Saes, L; Silvério, R; Constantin, J; Kremer, R; Biffe, D. 2010. Amino acid application can be an alternative to prevent glyphosate injury in glyphosate-resistant soybeans (en línea). *Journal of Plant Nutrition*, 35:268–287. Consultado 11 may. 2019. Disponible en <http://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1080/01904167.2012.636130>.

- Santos, JB; Ferreira, EA; Oliveira, JA; Silva, AA; Fialho, CMT. 2007. Efeito de formulações na absorção e translocação do glyphosate em soja transgênica (en línea). *Planta Daninha* 25 (2): 381-388. Consultado 10 Jul. 2018. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010083582007000200019
- Santos, A; Silva, M; Freitas, G; Silva, P; Ribeiro, R. 2015. Substância húmica na redução da fitotoxicidade dos herbicidas Roundup Ready + Lactofene na cultura da soja (en línea). *Tecnol. & Ciên. Agropec.*, João Pessoa, v9, n.3, p. 35;41. Consultado 23 jul. 2019. Disponible en <http://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-09-2015/volume-9-numero-3-junho-2015/fitotecnia-crop-science/tca9307.pdf>.
- SBCPD (Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas). 1995. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas (en línea). Brasil, BR. 42 p. Consultado 15 jun. 2018. Disponible en https://books.google.com.-py/books/about/Procedimentos_para_instala%C3%A7%C3%A3o_avaliao%C3%A7.html?id=9uoBaAEACAAJ&redir_esc=y.
- Sediyama, T; Teixeira, RO; Akemi, HS. 2016. A Soja. In Sediyama, T. *Productividade da soja*. Paraná, BR. 309 p.
- Sfredo, GJ. 2008. *Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral*. Embrapa Soja, Londrina, BR. 148 p. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <https://www.info-teca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/470934>
- Sfredo, GJ; Borkert, CM. 2004. *Deficiência e toxicidade de nutrientes em plantas de soja*. Embrapa Soja, Londrina, 44p.
- Saborío, F. 2002. Bioestimulantes en fertilización foliar. In Meléndez, G; Molina, E. eds. *Fertilización foliar: principios y aplicaciones* (en línea). Costa Rica, CR. p. 110-124. Consultado 16 may. 2018. Disponible en <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>
- Segura, J. 2008. Citoquininas. In Azcon-Bieto, J; Talón, M. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2 ed. Madrid, ES. 669 p.
- Singh, BK. 2002. Fertilización foliar de cultivos con ácidos húmicos. In In Meléndez, G; Molina, E. eds. *Fertilización foliar: principios y aplicaciones* (en línea). Costa Rica, CR. p. 110-124. Consultado 17 may. 2018. Disponible en <http://www.cia.-ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>
- Silva, T; Von Pinho, E; Cardoso, D; Alves, C; Alvim, P; Da Costa, A. 2008. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes (en línea). *Ciênc. agrotec.* vol.32 no.3 Lavras. Consultado el 30 jul. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v32n-3/a21v32n3.pdf>.

- Souza, R; Hungria, M; Franchini, J; Chueire, L; Barcellos, F; Campo, R. 2008. Avaliação qualitativa e quantitativa da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja (en línea). *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.43, n.1, p.71-82. Consultado 3 jul. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf-/pab/v43n1/a10v4-3n1.pdf>.
- Taiz, L; Zeiger, E. 2006. *Fisiología Vegetal* (en línea). Castelló de la Plana, ES. 656 p. Consultado 25 may. 2018. Disponible en <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FisiologiaVegetalVolumenII%20espanhol.pdf>
- Vieira, EL.; Castro, PRC. 2001. Ação de Stimulate no desenvolvimento inicial de plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) (en línea). *Informativo ABRATES* 11(2): 66. Consultado 14 may. 2018. Disponible en http://bdpi.usp.br/single.php?_id=001220260
- Weretilnyk, EA; Bednarek, S; McCue, KF; Rhodes, D; Hanson, A. 1989. Comparative biochemical and immunological studies of the glycine betaine synthesis pathway in diverse families of dicotyledons (en línea). *Planta* 178 (3): 342-352. Consultado 22 may. 2018. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00391862>
- Zobiolo, LHS; Oliveira, JR; Constantin, J; Biffe, DF; Kremer, RJ. 2010. Uso de aminoácido exógeno na prevenção de injúrias causadas por glyphosate na soja RR (en línea). *Planta Daninha* 28 (3): 643-653. Consultado 11 jul. 2018. Disponible en <http://www.scielo.br/pf/pd/v28n3/22.pdf>.

7. ANEXOS

Anexo 1. Plano de distribución de los tratamientos en el área experimental. Minga Guazú, Paraguay. 2019.



Referencias:

- T1= Testigo (Sin aplicación de bioestimulantes)
- T2= Bioestimulante de aplicación en semillas (BioTS)
- T3= Bioestimulante de aplicación vía foliar en estadio vegetativo (BioV)
- T4= Bioestimulante de aplicación via foliar en estadio reproductivo (BioR)
- T5= BioTS + BioV
- T6= BioV + BioR
- T7= BioTS + BioR
- T8= BioTS + BioV + BioR

Anexo 2. Fertilización y siembra de soja. Minga Guazú, Setiembre, 2018.



Anexo 3. Desarrollo inicial del cultivo, Minga Guazú, Set-octubre, 2018.



Germinación VE



Estadio V1



Estadio V2

Anexo 4. Vista aérea de la parcela en estadio reproductivo, Minga Guazú, Noviembre, 2018.



Anexo 5. Aplicación de tratamientos vía pulverización foliar, Minga Guazú, 2018.



Anexo 6. Evaluación de índice de clorofila, 10 DDA de la aplicación de bioestimulante en etapa vegetativa. Minga Guazú, setiembre, 2018.



Anexo 7. Evaluación de NDVI, 10 DDA de la aplicación bioestimulantes en etapa vegetativa. Minga Guazú, setiembre 2018.



Anexo 8. Cosecha de soja, experimento a campo. Minga Guazú, enero, 2019.



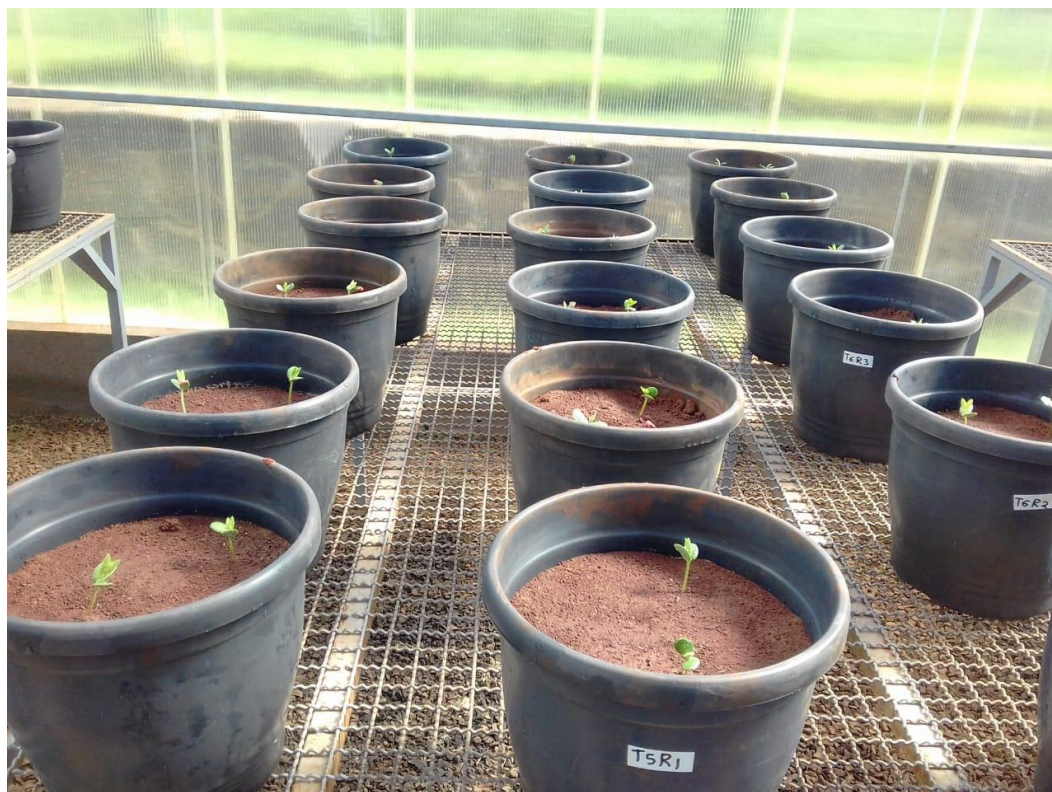
Anexo 9. Medición de variables de poscosecha. Minga Guazú, febrero, 2019.



Anexo 10. Vista del Invernadero utilizado en el experimento en macetas. Minga Guazú, marzo 2019.



Anexo 11. Disposición de macetas en el invernadero. Minga Guazú, Abril, 2019



Anexo 12. Vista de plantas de soja en el estadio R5. Minga Guazú, mayo, 2019.



Anexo 13. Medición de variables del experimento en invernadero. Minga Guazú, mayo, 2019.



Anexo 14. Tabla general de datos del experimento a campo. Minga Gauzú, 2019.

Trat.	NDVI	IC	Altura de plantas (cm)	MSA (Kg/ha)	NVP	NGV	PMG (g)	REN Kg/ha (13%H)
T1R1	0,76	44,70	62,7	7679	56	2,5	149,2	3975
T1R2	0,78	50,02	65,0	8704	58	3,1	145,9	4671
T1R3	0,80	46,46	63,3	8494	56	2,6	143,0	4234
T1R4	0,80	47,50	64,7	8284	51	2,8	148,7	4434
T2R1	0,77	47,06	61,3	9148	71	2,1	146,0	4791
T2R2	0,78	49,10	64,0	8222	66	2,6	149,8	5069
T2R3	0,82	45,28	62,0	8370	59	2,5	147,3	4590
T2R4	0,79	47,13	64,7	8531	62	2,2	153,0	4777
T3R1	0,75	45,92	59,0	8617	58	2,7	145,0	4154
T3R2	0,80	50,50	61,0	8642	62	2,4	146,0	4507
T3R3	0,80	45,98	64,7	7864	56	2,8	135,5	3996
T3R4	0,78	45,76	66,3	8086	58	2,4	148,0	4395
T4R1	0,76	46,34	60,7	8617	59	2,6	150,5	4436
T4R2	0,80	48,56	63,7	8914	73	2,4	142,1	5026
T4R3	0,80	47,50	64,3	7457	55	2,9	145,3	4218
T4R4	0,79	45,94	66,0	8346	58	2,5	146,8	4389
T5R1	0,79	47,40	69,3	9296	62	2,7	145,1	5350
T4R2	0,79	46,18	66,7	7704	70	1,9	169,9	4158
T5R3	0,81	46,84	73,7	8827	70	2,2	144,2	4443
T5R4	0,79	44,30	68,0	7963	66	2,2	156,0	4361
T6R1	0,79	50,06	65,0	9457	58	3,2	146,3	5077
T6R2	0,81	46,58	65,3	8012	67	2,4	149,0	4341
T6R3	0,82	46,78	70,0	8827	66	2,5	146,8	4923
T6R4	0,80	45,48	70,7	7444	55	2,6	153,0	4114
T7R1	0,76	48,14	63,0	8222	64	2,8	145,4	4738
T7R2	0,78	44,84	62,7	8395	79	2,2	139,1	4738
T7R3	0,78	44,18	60,7	7136	58	2,3	142,5	3716
T7R4	0,80	46,22	56,7	7543	54	2,9	145,0	4522
T8R1	0,80	51,02	63,7	9444	67	2,7	153,2	5496
T8R2	0,80	46,14	61,3	8827	61	2,7	142,7	4896
T8R3	0,81	46,22	68,0	8037	69	2,5	144,1	4588
T8R4	0,79	47,33	64,0	8086	69	2,3	141,5	4576

Anexo 15. Tabla general de datos del experimento en invernadero. Minga Guazú, 2019.

Trat.	NVP	NGP	MFA	MFR	NNP	MSN	MSA	MSR	NNUDP	IC
T1R1	19	38	30,30	12,45	13,5	0,13	7,47	1,52	8,0	48,0
T2R1	22,5	42,5	33,11	10,65	11,5	0,16	7,72	1,32	8,0	49,3
T3R1	21	36	34,52	12,49	17	0,24	8,12	1,51	8,0	45,4
T4R1	17,5	38,5	29,24	9,93	15	0,20	7,08	1,40	8,5	48,2
T1R2	18	38,5	37,00	11,86	19,5	0,23	8,62	1,53	8,5	45,9
T2R2	23	40	33,14	9,58	13	0,17	7,57	1,32	8,0	45,6
T3R2	19,5	39,5	34,36	8,60	22	0,26	8,18	1,23	8,5	49,6
T4R2	17	34,5	33,12	11,34	22	0,21	8,06	1,50	8,5	46,7
T1R3	19	38,5	28,48	8,34	16	0,15	6,88	1,27	8,0	48,2
T2R3	19,5	40	33,92	10,65	21	0,27	8,55	1,51	8,5	47,9
T3R3	22	44	36,43	10,06	18	0,22	8,82	1,43	8,5	50,3
T4R3	23	42,5	35,00	10,68	22,5	0,41	8,13	1,39	8,5	48,0
T1R4	17,5	33	27,09	8,28	21,5	0,19	6,55	1,08	8,0	43,2
T2R4	16,5	31	33,80	8,62	17	0,22	8,29	1,38	8,5	50,5
T3R4	19	37,5	35,75	13,32	20	0,32	8,78	1,70	8,5	48,2
T4R4	17,5	35	29,01	10,82	19	0,23	6,94	1,36	8,0	50,4
T1R5	24	44	41,27	14,14	12,5	0,22	9,95	1,84	8,5	48,5
T2R5	20,5	34,5	26,53	8,58	12,5	0,10	5,59	0,90	8,0	46,0
T3R5	19	31,5	32,39	9,82	10	0,17	7,09	1,08	8,0	48,3
T4R5	18,5	31,5	32,41	11,43	14	0,16	7,51	1,41	8,0	49,6

Anexo 16. Análisis de varianza de parámetros de crecimiento de la soja en el experimento a campo. Minga Guazú, 2019.

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NDVI	32	0,7	0,56	1,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	10	6,50E-04	5,01	0,0009
Tratamiento	2,10E-03	7	3,10E-04	2,36	0,06
Bloque	4,30E-03	3	1,40E-03	11,19	0,0001
Error	2,70E-03	21	1,30E-04		
Total	0,01	31			

Test: Scott & Knott Alfa=0,10

Error: 0,0001 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
6	0,81	4	0,01	A
8	0,8	4	0,01	A
5	0,8	4	0,01	A
2	0,79	4	0,01	B
4	0,79	4	0,01	B
1	0,79	4	0,01	B
3	0,78	4	0,01	B
7	0,78	4	0,01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Índice de clorofila (IC)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IC	32	0,29	0	3,8

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	27,7	10	2,77	0,87	0,5733
Tratamiento	10,09	7	1,44	0,45	0,8571
Bloque	17,61	3	5,87	1,84	0,1703
Error	66,86	21	3,18		
Total	94,57	31			

Masa seca aérea

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MSA (kg/ha)	32	0,42	0,15	6,5

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4567165,31	10	456716,53	1,55	0,1901
Tratamiento	1634786,97	7	233541	0,79	0,6012
Bloque	2932378,34	3	977459,45	3,32	0,0395
Error	6182198,91	21	294390,42		
Total	10749364,2	31			

Altura de plantas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (cm)	32	0,67	0,52	3,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	258,6	10	25,86	4,36	0,0022
Tratamiento	220,22	7	31,46	5,3	0,0013
Bloque	38,38	3	12,79	2,15	0,1237
Error	124,7	21	5,94		
Total	383,3	31			

Test:Scott & Knott Alfa=0,10

Error: 5,9379 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
5	69,43	4	1,22	A
6	67,75	4	1,22	A
8	64,25	4	1,22	B
1	63,93	4	1,22	B
4	63,68	4	1,22	B
2	63	4	1,22	B
3	62,75	4	1,22	B
7	60,78	4	1,22	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Anexo 17. Análisis de varianza de componentes productivos del cultivo de soja del experimento a campo. Minga Guazú, 2019.

Número de vainas por planta (NVP)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NVP	32	0,54	0,33	8,6

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	720,06	10	72,01	2,51	0,0363
Tratamiento	450,22	7	64,32	2,24	0,072
Bloque	269,84	3	89,95	3,14	0,0471
Error	602,41	21	28,69		
Total	1322,47	31			

Test: Scott & Knott Alfa=0,10

Error: 28,6860 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
5	67	4	2,68	A
8	66,5	4	2,68	A
2	64,5	4	2,68	A
7	63,75	4	2,68	A
6	61,5	4	2,68	B
4	61,25	4	2,68	B
3	58,5	4	2,68	B
1	55,25	4	2,68	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Número de granos por vaina (NGV)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NGV	32	0,36	0,06	11,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,94	10	0,09	1,19	0,3494
Tratamiento	0,75	7	0,11	1,36	0,2731
Bloque	0,19	3	0,06	0,8	0,5058
Error	1,66	21	0,08		
Total	2,6	31			

Peso de mil granos (PMG)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PMG (g)	32	0,44	0,17	3,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	473,9	10	47,39	1,62	0,1697
Tratamiento	337,06	7	48,15	1,64	0,1781
Bloque	136,84	3	45,61	1,56	0,2296
Error	615,5	21	29,31		
Total	1089,4	31			

Rendimiento de granos (REN)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
REN (Kg ha ⁻¹)	32	0,45	0,18	7,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2228936,8	10	222893,68	1,7	0,1463
Tratamiento	1331516,5	7	190216,64	1,45	0,2377
Bloque	897420,34	3	299140,11	2,28	0,1085
Error	2750477,9	21	130975,14		
Total	4979414,7	31			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
	Contraste1	-478,25	255,91	457446,13	1	457446,13	3,49	0,0757
	Contraste2	-560,5	255,91	628320,5	1	628320,5	4,8	0,0399
	Total			732864,5	2	366432,25	2,8	0,0837

Coeficientes de los contrastes

Tratamiento	Ct.1	Ct.2
1	1	1
2	-1	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	-1

Anexo 18. Análisis de varianza de parámetros de crecimiento y componentes productivos de la soja del experimento en invernadero. Minga Guazú, 2019.

Masa seca aérea (MSA)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MSA	20	0,16	0	14,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,76	7	0,39	0,31	0,9334
Trat	1,49	3	0,5	0,4	0,7583
Rep	1,27	4	0,32	0,25	0,902
Error	15,06	12	1,26		
Total	17,83	19			

Índice de clorofila (IC)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IC	20	0,23	0	4,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	15,85	7	2,26	0,5	0,8164
Trat	9,87	3	3,29	0,73	0,554
Rep	5,97	4	1,49	0,33	0,8519
Error	54,15	12	4,51		
Total	70	19			

Número de nudos por planta (NNUDP)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NNUDP	20	0,24	0	3,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,3	7	0,04	0,54	0,7881
Trat	0,05	3	0,02	0,21	0,8872
Rep	0,25	4	0,06	0,79	0,5539
Error	0,95	12	0,08		
Total	1,25	19			

Número de vainas con granos por planta (NVP)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NVP	20	0,37	0	11,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	34,51	7	4,93	0,99	0,4806
Trat	8,44	3	2,81	0,57	0,6478
Rep	26,08	4	6,52	1,31	0,3205
Error	59,63	12	4,97		
Total	94,14	19			

Número de granos por planta (NGP)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NGP	20	0,44	0,11	10,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	138,01	7	19,72	1,33	0,3147
Trat	10,34	3	3,45	0,23	0,8714
Rep	127,68	4	31,92	2,16	0,1355
Error	177,23	12	14,77		
Total	315,24	19			

Anexo 19. Análisis de varianza de parámetros de desarrollo de raíces y formación de nódulo, experimento en invernadero. Minga Guazú, 2019.

Número de nódulos por planta (NODP)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NNODP	20	0,72	0,56	15,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	215,91	7	30,84	4,49	0,0114
Trat	32,54	3	10,85	1,58	0,2463
Rep	183,38	4	45,84	6,67	0,0046
Error	82,53	12	6,88		
Total	298,44	19			

Masa seca de nódulos (MSN)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MSN	20	0,48	0,18	29,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,04	7	0,01	1,58	0,2324
Trat	0,02	3	0,01	1,42	0,2844
Rep	0,03	4	0,01	1,7	0,2154
Error	0,05	12	3,90E-03		
Total	0,09	19			

Masa seca de la raíz (MSR)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MSR	20	0,13	0	18,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,11	7	0,02	0,25	0,9629
Trat	0,07	3	0,02	0,39	0,7648
Rep	0,04	4	0,01	0,15	0,9616
Error	0,75	12	0,06		
Total	0,86	19			