



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**“COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE UN
CULTIVO DE SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill] EN REPUESTA A
LA APLICACIÓN DE UN BIOESTIMULANTE FOLIAR”**

AUTORA

ILIANA MAGALI TELLO

DIRECTOR

ING. AGR. JUAN PABLO ODETTI

INGENIERÍA AGRONÓMICA

VILLA MERCEDES, SAN LUIS

2024

RESUMEN

El cultivo de soja (*Glicine max* L. Merrill) es fundamental para la economía argentina, debido a su significativa contribución al PBI y al volumen de exportaciones. Sin embargo, en la región de San Luis, enfrenta desafíos considerables debido a las limitaciones edafoclimáticas. Se llevó a cabo un estudio en el Campo Experimental de la UNSL “Altos de Curalicó”, cuyo diseño experimental fue bloques completos al azar, donde se ensayaron cinco tratamientos de bioestimulante ¡QFort® en dosis crecientes (0, 500, 1000, 1500, y 2000 cc/ha), aplicados en dos momentos del desarrollo del cultivo: estadios V4 y R3, según la escala fenológica de Fehr y Caviness (1977). Se midieron diversas variables de crecimiento y componentes de rendimiento, como altura de plantas, densidad poblacional, índice de verdor, número de hojas, número de vainas, número de granos por vaina, peso de mil granos, y rendimiento. Los resultados obtenidos se analizaron mediante el software estadístico INFOSTAT®, utilizando Medidas resumen, Modelos Lineales Mixtos, Test a Posteriori y Análisis de Componentes Principales que, muestran que una dosis intermedia de bioestimulante (1500 cc/ha) proporcionaron mejoras significativas en el rendimiento, con incrementos de hasta 537 kg/ha en comparación con el testigo. Este aumento en la productividad se atribuyó a un mayor número de vainas y granos por unidad de superficie, así como a una mejor estructura vegetativa, lo cual fue crucial para enfrentar las condiciones de estrés hídrico y térmico presentes durante el ensayo. No obstante, variables como el peso de mil granos e índice de verdor no presentaron diferencias estadísticamente significativas. La aplicación de bioestimulante ecológico demostró ser una herramienta efectiva para mitigar algunas limitantes ambientales de zonas productivas marginales, como son las de la provincia de San Luis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	10
Clasificación según las formulaciones de los bioestimulantes	12
Formulaciones a base de aminoácidos.....	12
Formulaciones a base de aminoácidos con reguladores de crecimiento	13
Formulaciones a base de aminoácidos con vitaminas.....	13
Formulaciones húmicas	13
Formulaciones a partir de algas	14
Formulaciones a partir de microorganismos beneficiosos	14
Clasificación según el modo de acción de los bioestimulantes.....	14
Ahorro energético	14
Formación de sustancias biológicamente activas	15
Producción de antioxidantes	15
Efecto regulador sobre el metabolismo de microelementos	15
Incremento de polifenoles	15
Modo de aplicación y absorción de los bioestimulantes.....	15
Diagnóstico del estado de las plantas.....	16
OBJETIVOS	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos	17
HIPOTESIS	17
ANTECEDENTES SOBRE EL TEMA.....	18
MATERIALES Y MÉTODOS	19
Localización y caracterización del sitio experimental.....	19
Diseño experimental.....	24
Material experimental	24
Implantación del cultivo y manejo del experimento	25

Siembra de soja	25
Demarcación del ensayo	26
Seguimiento del cultivo.....	26
Aplicación de bioestimulantes.....	26
Parámetros de crecimiento de la soja.....	27
Cosecha	28
Componentes del rendimiento de la soja.....	29
Trilla.....	29
Calidad del grano.....	29
Análisis de resultados.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Fenología.....	30
Parámetros de crecimiento y desarrollo de la soja.....	31
Densidad poblacional, altura de plantas y número de nudos	31
Índice de verdor.....	33
Número de hojas.....	35
Rendimiento y sus componentes	36
Número de granos.....	37
Peso de 1000 granos	38
Número de vainas.....	39
Número de granos por vaina.....	39
Análisis de la biomasa.....	40
Número de ramificaciones.....	42
Valores de concentración proteica y de aceite en las muestras de soja.....	42
Análisis de Correlación.....	43
Análisis de componentes principales	44

CONCLUSIONES.....46

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismo de acción de bioestimulantes formulados a base de aminoácidos.	13
Figura 2. Respuesta de las plantas a la aplicación de bioestimulantes en distintas etapas fenológicas.	16
Figura 3 y 4. Ubicación del establecimiento "Altos de Curalicó" en el departamento General Pedernera en San Luis. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 5. Precipitaciones registradas en el campo experimental de la UNSL "Altos de Curicó" correspondientes a la campaña agrícola 2021/22.	24
Figura 6. Temperaturas máximas, medias y mínimas durante el ciclo del cultivo de soja (Nov/21 a Mar/22). Fuente INTA San Luis.	24
Figura 7. Esquema del diseño experimental en donde cada dosis de producto bioestimulante representa un tratamiento. Los valores se expresan en equivalente a cc/ha.	25
Figura 8. Vista satelital del experimento en el campo experimental "Altos de Curalicó"	27
Figura 9. Presentación del producto comercial ¡Qfort® utilizado en el experimento.	28
Figura 10. Momentos de aplicación del bioestimulante basados en la escala fenológica de soja propuesta por Fehr y Caviness, 1977. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 11. Medición de altura de plantas de soja.	23
Figura 12. Vaina en estadio R6.	30
Figura 13. Equipo de trabajo sobre ensayo de soja en su estado de madurez.	31
Figura 14. Alturas promedio de plantas por dosis medidas en dos momentos (R3 y R6).	32
Figura 15. Número de nudos por dosis medidas en dos momentos (R3 y R6). ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 16. Índice SPAD por dosis medidos en dos momentos.	34
Figura 17. Presencia abundante de nódulos radicales (<i>Bradyrhizobium japonicum</i>), observados en las plántulas de soja desde etapas tempranas.	35
Figura 18. Mediciones tomadas con Clorofilómetro Spad Minolta 500	35

Figura 19. Número de granos por unidad de superficie y dosis de bioestimulante. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (<i>LSD Fischer</i> $\alpha=0,05$)	38
Figura 20. Peso de mil granos y dosis de bioestimulantes. Letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticas significativas (<i>LSD Fischer</i> $\alpha=0,05$).....	38
Figura 21. Número de vainas por unidad de superficie con una, dos, tres y cuatro semillas. Los valores interiores representan los porcentajes de vainas con 0, 1, 2, 3 y 4 granos (NV0, NV1, NV2, NV3 y NV4 respectivamente).. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 22. Número de ramificaciones por planta en respuesta a las dosis de bioestimulante. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (<i>LSD Fischer</i> $\alpha=0,05$)	42
Figura 23. Índice ProFat de concentración de proteína (barra azul) y aceite (barra gris) con respecto a los distintos tratamientos.	43
Figura 24. Gráfico Biplot que representa el análisis de los componentes principales.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ocupación en la cadena productiva de la soja por etapa de actividad económica. Fuente: Bolsa de Cereales de Rosario, 2022.	10
Tabla 2. Resultados de análisis de suelo del establecimiento "Altos de Curalicó".	27
Tabla 3. Dosis correspondientes a cada tratamiento.	21
Tabla 4. Análisis de medidas repetidas en el tiempo para la variable altura de plantas.	33
Tabla 5. Análisis de medidas repetidas en el tiempo para la variable número de nudos.	36
Tabla 6. Análisis de medidas repetidas en el tiempo para la variable índice de verdor.	37
Tabla 7. Test de comparación de medias <i>LSD Fisher</i> ($\alpha=0.05$) para la variable número de hojas por planta.	37
Tabla 8. Rendimientos promedios con respecto a las distintas dosis de bioestimulante utilizadas.	39
Tabla 9. Test de comparación de medias <i>LSD Fisher</i> ($\alpha=0.05$) para la variable rendimiento (kg/ha).	38
Tabla 10. Medidas de ajuste del modelo estimado y pruebas de hipótesis marginales para la variable número de granos por metro cuadrado y factor dosis de bioestimulante.	38
Tabla 11. Test de comparación de medias <i>LSD Fisher</i> ($\alpha=0.05$) para la variable número de vainas.	40
Tabla 12. Test de comparación de medias <i>LSD Fisher</i> ($\alpha=0.05$) para la variable biomasa aérea total.	42
Tabla 13. Test de comparación de medias <i>LSD Fisher</i> ($\alpha=0.05$) para la variable biomasa vegetativa.	42
Tabla 14. Test de comparación de medias <i>LSD Fisher</i> ($\alpha=0.05$) para la variable biomasa reproductiva.	42
Tabla 15. Análisis de correlación entre variables estudiadas. Solo se expresan los valores de correlación con un p-valor $\leq 0,05$	43

INTRODUCCIÓN

La soja *Glicine max* (L.) Merrill, es un cultivo oleaginoso cuya intervención en la cadena agroalimentaria no ha perdido importancia desde la Segunda Guerra Mundial.

Es una especie perteneciente a la familia de las Fabáceas, o leguminosas, originaria de la Región Nordeste de China, cultivada principalmente para la obtención de proteína y aceite.

Dentro del contexto latinoamericano, el cultivo de la soja se concentra en Argentina, Brasil y Paraguay y que junto a Estados Unidos generan más de las tres cuartas partes de la producción mundial.

La industria de la soja es considerada como un importante factor socioeconómico para la Argentina (Tabla 1), ya que es la cadena agroalimentaria que más contribuye al PBI, generando 1 de cada 3 dólares que ingresan por exportaciones, explica \$3,5 de cada \$100 del PBI argentino y además, es una de las que más empleo dinamiza en el país (Bolsa de Comercio de Rosario, 2022).

*Tabla 1. Ocupación en la cadena productiva de la soja por etapa de actividad económica.
Fuente: Bolsa de Cereales de Rosario, 2022.*

ETAPA	OCUPADOS	PARTICIPACION SOBRE EL TOTAL DE LA CADENA DE LA SOJA	PARTICIPACION SOBRE TOTAL DE LAS CAA
Insumos y Maquinaria	33.733	9%	36,8%
Primaria	246.847	61%	17,1%
Industrialización	36.731	9%	4,7%
Comercialización	46.938	12%	5,0%
Transporte y Almacenamiento	33.439	8%	28,6%
Servicios Relacionados	4.495	1%	39,8%
Total	404.183	100%	11,7%

El potencial negocio de biocombustibles puede generar aumento de la producción sojera en nuestro país. Donde el mercado internacional va a demandar una mayor exportación del producto (INASE, 2021).

La información de las últimas 5 campañas agrícolas (2019/20 a 2023/24) registra valores promedios de 16.441.331 hectáreas sembradas en el país, cuya producción total fue de 42,4 millones de toneladas con un rinde promedio de 26,3 qq/ha. En la provincia de San Luis y para el mismo período analizado, la superficie sembrada fue de 232.940 hectáreas, con una producción de 412.400 toneladas y un rinde promedio de 18,6 qq/ha (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2024). En este sentido, diversas tecnologías son aplicadas para elevar la productividad de la soja y mejorar la rentabilidad de los sistemas de producción de forma sostenible, entre ellas podemos considerar como una de las más novedosas al uso de bioestimulantes agrícolas que, debido a sus propiedades prometedoras, hace necesario que se intensifiquen las investigaciones sobre el tema, tanto a nivel regional como global.

El uso de los bioestimulantes en la agricultura está en aumento y con su aplicación, no se pretende reemplazar a la fertilización tradicional sino complementarla, ya que potencian los procesos naturales pudiendo mejorar la eficiencia de absorción de agua y nutrientes repercutiendo de forma positiva en el rendimiento y calidad de las cosechas. Además, su aplicación estimula el crecimiento vegetal y confiere a las plantas resistencia ante distintas situaciones de estrés ocasionadas 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 acompañados de otras sustancias, tales como aminoácidos, vitaminas y nutrientes, entre otras. Estos biorreguladores pueden provenir de diversas fuentes primarias, siendo una de ellas los extractos de algas marinas, que son ricos en sustancias bioestimulantes (Samudio Cardozo, 2020).

Du Jardin (2015) explicó que, aunque existen variaciones en la definición de bioestimulantes, las distintas versiones suelen coincidir en tres características: no

son fertilizantes, no son fitosanitarios y su definición se basa en su función. Entonces, se los considera como cualquier sustancia o microorganismo que, al ser aplicado a las plantas, tiene la capacidad de mejorar la eficacia de éstas en la absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico o abiótico y mejorar las características agronómicas de los cultivos.

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 promueven la síntesis de hormonas naturales, pudiendo también aumentar su actividad, facilitar la absorción 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 las plantas a condiciones desfavorables, tales como la sequía, la contaminación del ambiente con metales pesados, entre otros.

Clasificación según las formulaciones de los bioestimulantes

En el mercado, una amplia gama de productos es incluida en este término, por lo que resulta necesario clasificarlos de acuerdo a su origen o composición, (Meléndez y Molina, 2002). Existen algunos químicamente bien definidos como tales como los compuestos por aminoácidos, otros más complejos, como los extractos de algas y ácidos húmicos. En algunos casos sus concentraciones son reportadas en rangos y no con valores exactos.

Formulaciones a base de aminoácidos

En los bioestimulantes, los aminoácidos pueden encontrarse de forma libre, en cadenas cortas (1-10 aminoácidos) u oligopéptidos, o en cadenas largas (más de 10 aminoácidos) llamados polipéptidos. Estas unidades básicas constituyen a las proteínas que cumplen un papel fundamental en todos los procesos biológicos como el transporte y almacenamiento, soporte mecánico, integración del metabolismo, el control del crecimiento y la diferenciación (Figura 1).

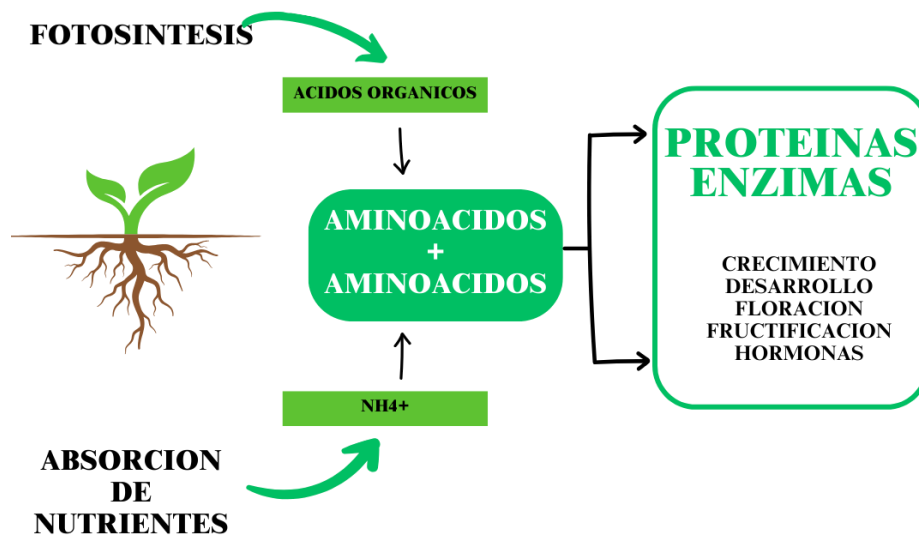


Figura 1. Mecanismo de acción de bioestimulantes formulados a base de aminoácidos.

Formulaciones a base de aminoácidos con reguladores de crecimiento

Los reguladores de crecimiento son compuestos que, pueden ser sintetizados químicamente u obtenidos de otros organismos. Son los encargados de regular distintos procesos bioquímicos a nivel celular en los organismos vegetales, promoviéndolos, inhibiéndolos o modificándolos.

Estos compuestos se pueden clasificar de acuerdo a su estructura molecular, actividad a nivel vegetal, sus efectos inhibitorios o estimulantes, entre otras.

Formulaciones a base de aminoácidos con vitaminas

Algunos bioestimulantes, en su constitución, incluyen paquetes de vitaminas, las cuales son compuestos orgánicos esenciales que, en pequeñas cantidades cumplen funciones catalizadoras y reguladoras en el metabolismo de las células. Las plantas no necesitan consumirlas, como lo hacemos los humanos, sino que, tienen la capacidad de sintetizarlas por sí solas. Algunas de las vitaminas esenciales que las plantas necesitan para su desarrollo son: A, B1, B2, B6, B9, C, D y E.

Formulaciones húmicas

Los efectos bioestimulantes de las sustancias húmicas sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas han sido extensamente estudiados, encontrándose incremento en la longitud del tallo, raíz, hojas, biomasa, tamaño y calidad de los

frutos; así como el aumento de los rendimientos en las cosechas (Veobides Amador *et al.*, 2018).

Formulaciones a partir de algas

Según Pautasso (2021), los efectos bioestimulantes a menudo se han atribuido a la presencia de hormonas de crecimiento de las plantas y compuestos relacionados de bajo peso molecular presentes en los extractos de algas; además contienen moléculas más grandes, incluidos polisacáridos y polifenoles, que pueden mejorar la resistencia al estrés. Por lo tanto, actúan como quelantes, mejorando la utilización de nutrientes y aumentando el crecimiento de las raíces.

Formulaciones a partir de microorganismos beneficiosos

Los microorganismos beneficiosos incluidos en este tipo de formulación son, principalmente, hongos y bacterias. Éstos estimulan el desarrollo vegetal mediante mecanismos que no implican un aumento directo en la eficiencia de absorción de nutrientes, sino que ejercen efectos indirectos, por ejemplo, aportando fitohormonas o mediante el aumento de la actividad microbiana, la respiración o la fertilidad general del suelo (Starobinsky *et al.*, 2021).

Clasificación según el modo de acción de los bioestimulantes

El efecto de los bioestimulantes va a depender de su composición. Según su modo de acción pueden clasificarse:

Ahorro energético

Mediante la fotosíntesis, la respiración y los nutrimentos que absorben, las plantas sintetizan sus propios aminoácidos que, luego se unen formando cadenas, dando lugar a las proteínas y enzimas, constituyentes del material vivo de las mismas. Al aplicar bioestimulantes formulados con aminoácidos, la energía que gastaría la planta en sintetizarlos, puede destinarla a procesos productivos, tales como floración, producción de frutos, etc. Este ahorro energético, toma gran importancia, cuando estos productos son aplicados en momentos críticos, propios de la fenología de la planta o cuando muestran algún tipo de debilitamiento por diversas condiciones de estrés.

Formación de sustancias biológicamente activas

Las sustancias biológicamente activas actúan vigorizando y estimulando la vegetación. Por lo que, aplicar aminoácidos en periodos críticos de la planta, beneficia a estas sustancias.

Su naturaleza no es conocida, pero se ha demostrado que estimulan la formación de clorofila, de ácido indolacético, la producción de vitaminas y síntesis de numerosos sistemas enzimáticos (Meléndez y Molina, 2002).

Producción de antioxidantes

Los antioxidantes mejoran el metabolismo de las plantas y evitan niveles tóxicos de las sustancias oxidantes cuando éstas se encuentran en estrés. Se ha demostrado que, tras la aplicación de extractos de algas, aumenta la cantidad de antioxidantes.

Efecto regulador sobre el metabolismo de microelementos

Los aminoácidos pueden formar quelatos con microelementos como el Co, Fe, Zn y Mn favoreciendo su transporte y penetración en el interior de los tejidos, pero existe una incompatibilidad biológica entre los aminoácidos y compuestos cúpricos, ya que los primeros forman uniones con el cobre y al penetrar en los tejidos produce fitotoxicidad (Franz Mamani, 2014).

Incremento de polifenoles

Las plantas tratadas con bioestimulantes, son más vigorosas que las no tratadas y, pueden producir más componentes defensivos (contra insectos, por ejemplo) como los polifenoles.

Modo de aplicación y absorción de los bioestimulantes

Normalmente los bioestimulantes, se aplican vía foliar pero también de manera radicular. Se utilizan en pulverizaciones foliares o sistemas de riegos. También, suelen mezclarse con productos fitosanitarios para aplicarlos en conjunto.

Estos productos, en general se caracterizan por ser asimilados fácilmente por las plantas y con un consumo mínimo de energía entran a formar parte de las células en lugares de activo crecimiento.

Actualmente, el uso de bioestimulantes está en tendencia, encontrándose en ciertos planteos productivos donde antes no se consideraban.

Diagnóstico del estado de las plantas

Cuando las plantas han menguado su crecimiento tras algún tipo de estrés biótico (plagas, enfermedades, etc.) o abiótico (altas temperaturas, sequía, granizo, etc.) es probable que haya una disminución en su rendimiento. En estos casos, se recomienda el uso de bioestimulantes para potenciar sus rutas metabólicas y fisiológicas.

Como en su mayoría estos productos van acompañados de nutrientes, es importante que, mediante análisis químico de suelos y tejidos vegetales, se determine la deficiencia para poder actuar sobre la misma o bien, anticiparnos.

Uno de los puntos a tener en cuenta, es el momento en el que se aplican los bioestimulantes. Esto aún se encuentra en estudio, pero a grandes rasgos, podría recomendarse utilizarlos en el momento de mayor demanda energética por parte del cultivo, porque recibiría un estimulante natural directo (Figura 2).

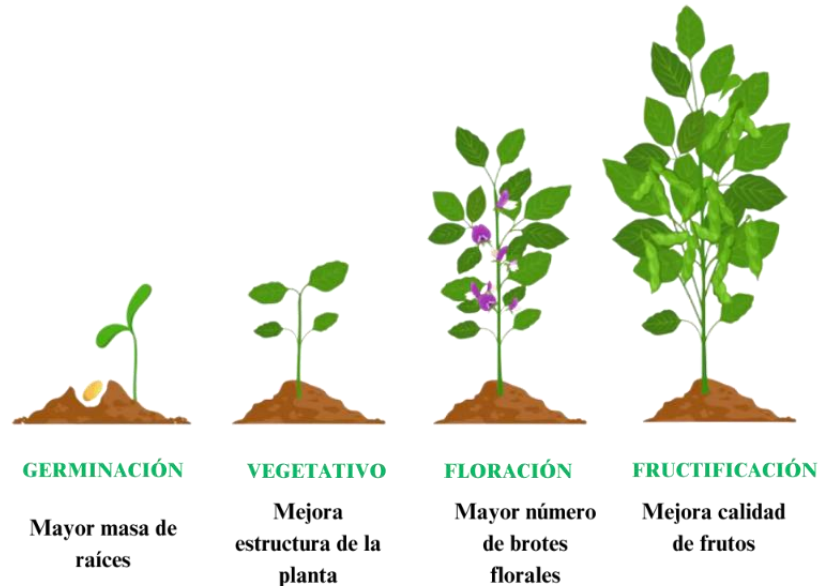


Figura 2. Respuesta de las plantas a la aplicación de bioestimulantes en distintas etapas fenológicas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar los efectos de la aplicación de un bioestimulante ecológico en características de interés agronómico de un cultivo de soja.

Objetivos específicos

1. Explicar la relación entre dosis de bioestimulante aplicado, el rendimiento obtenido, sus componentes y la concentración de proteína y aceite de los granos.
2. Definir la dosis de bioestimulante de mejor respuesta productiva.

HIPOTESIS

La respuesta productiva del cultivo de soja evidenciará diferencias ante la aplicación de crecientes dosis de un bioestimulante ecológico.

ANTECEDENTES SOBRE EL TEMA

Numerosas investigaciones sobre el cultivo de soja prueban la funcionalidad de los bioestimulantes. En diferentes zonas productivas de Brasil se obtuvieron resultados positivos cuando midieron producción y en ciertos componentes del rendimiento, tales como la biomasa aérea total y el número de granos por planta (Klahold *et al.*, 2006; Moterle *et al.*, 2008; Campos *et al.*, 2008; Bertolin *et al.*, 2010; Albrecht *et al.*, 2011). Sin embargo, el posicionamiento de uso de bioestimulantes en nuestro país, a pesar de ser novedoso, aún está por consolidarse. Pautasso (2021), en la provincia de Entre Ríos estableció que el uso de los mismos incrementa el rendimiento en soja entre el 6% y 10% siendo indiferente la clase de producto y el tipo de aplicación (en la semilla o foliar), tal como citó Du Jardin (2015) en su trabajo. Por su parte Bobillo y Tarditi (2017) reportaron resultados positivos tras la aplicación de estos productos en cultivos de soja de la provincia de La Pampa, principalmente cuando midieron variables cuantitativas de rendimiento y calidad en situaciones de marcado estrés abiótico.

En la provincia de San Luis, los antecedentes específicos en el tema son escasos. Bertone *et al.* (2019) evaluaron la respuesta de un cultivo de soja ante aplicaciones de micronutrientes quelatados de manera foliar, encontrando respuestas a dosis recomendadas en el rendimiento en el orden de los 850 kg/ha.

En cuanto a la respuesta de las concentraciones de aceite y proteína en los granos de soja, las investigaciones hasta el momento se han basado en el testeo de fertilizantes tradicionales (Martínez y Cordone, 2015; Garrahan, 2016; Caride, 2016), siendo escasos los antecedentes sobre los efectos a la aplicación de bioestimulantes ecológicos. Por tal motivo, en el presente trabajo se propone evaluar el rendimiento cuantitativo de un cultivo de soja, sus principales componentes y las características cualitativas de los granos, tras la aplicación de un bioestimulante de origen natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron los datos medidos y registrados en un ensayo de aplicación de un bioestimulante ecológico en el cultivo de soja, sembrado en la campaña agrícola 2021/22, en el marco de una Pasantía en Investigación del PROICO P-140618 (actualmente P-141323) de Ciencia y Técnica de la FICA-UNSL, realizada por la suscrita estudiante Iliana Magalí Tello (RD14 – 171 / 2023).

Localización y caracterización del sitio experimental

La investigación se realizó en el Campo Experimental y Demostrativo de la UNSL “Altos de Curalicó”, ubicado sobre Autopista 55 Norte Km 778 (Figuras 3 y 4), y en el Laboratorio de Calidad de Semillas y Granos de la UNSL (Departamento de Ciencias Agropecuarias de la FICA-UNSL).



Figura 3 y 4. Ubicación del establecimiento "Altos de Curalicó" en el departamento General Pedernera en San Luis.

La provincia de San Luis, ubicada en la región Semiárida Central presentan precipitaciones anuales que varían desde los 700 mm en el Este hasta 250 mm en el Oeste (Sáenz, 2009). El departamento General Pedernera, ubicado en el Centro Oeste de la provincia y donde se llevó a cabo el ensayo experimental, presenta un régimen con precipitaciones de tipo monzónico. Forte Lay *et al.* (2008) destacaron un incremento de 100 mm en el total anual para la región de Villa

Mercedes y alrededores para el periodo comprendido entre 1977-2006 respecto al periodo previo comprendido entre 1947-1976.

El suelo donde se desarrolló el ensayo corresponde al Orden de los Entisoles, SubOrden Psamente, Gran Grupo Ustipsamentes, Sub Grupo Típicos, de la Serie Cramer, suelos con un desarrollo incipiente de horizontes genéticos y un perfil tipo A-AC-C. Dichos suelos son de textura franco arenosa, bien drenados, de permeabilidad rápida, con estructuración moderada a débil y susceptibles a erosión eólica e hídrica, de acuerdo a la clasificación taxonómica de las Series de suelos, según el “Soil Taxonomy” descriptas en Carta de Suelos de la República Argentina, Hoja Villa Mercedes, provincia de San Luis (Peña Zubiate y D’Hiriart, 2000). A su vez, se indica que el ensayo se ubicó en partes relativamente planas y homogéneas del paisaje.

Las limitaciones principales se basan en la semiaridez, bajo contenido de materia orgánica que, no superan el 1% en el horizonte superficial y contenido de nitrógeno.

Los suelos son buenos para cultivos extensivos sin riego, de cereales y algunas forrajeras como alfalfa y cereales de invierno. Forman parte de una llanura arenosa en parte loésica con médanos estabilizados que incluyen también áreas ligeramente deprimidas y fuertemente salinizadas (Capitanelli y Zamorano, 1972). Son muy susceptibles a la erosión eólica y en partes se depositaron derrames aluviales arenosos muy finos que al secarse quedaron expuestos. Estas áreas se destinan a cultivos de cosecha e implantación de praderas perennes.

Para Galván y Collado (2009), los suelos de la cuenca El Morro poseen una capacidad de uso de clase predominantemente IV, aptos con restricción por su susceptibilidad a la erosión hídrica, requieren prácticas complejas de manejo y conservación y son aptas para una estrecha gama de cultivos.

Los suelos de textura franco arenosa se asocian a una tasa de infiltración alta, sin embargo, la presencia de roca a poca profundidad (zonas cercanas al Cerro El Morro), anula las pérdidas por infiltración profunda, por lo que los excedentes hídricos en años lluviosos, derivan en escorrentías superficiales de magnitud.

En cuanto a la cubierta vegetal, esta región se encuentra dentro de la Provincia Chaqueña y El Espinal. Sus principales especies arbóreas son el Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y el Caldén (*Neltuma caldenia*), a los que le siguen el Tala (*Celtis tala*), el Chañar (*Geoffroea decorticans*), el Molle de beber (*Lithraea molleoides*), el Aguaribay (*Schinus molle*), el Algarrobo (*Neltuma spp.*), el Espinillo (*Vachellia caven*), entre otros, junto con arbustos xerófilos (Capitanelli y Zamorano, 1972).

Previo a la ejecución del experimento se realizó extracción de muestras y análisis químico de suelo. Se presentan los resultados obtenidos del mismo con el objetivo de evaluar su estado al inicio del ensayo (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de análisis de suelo del establecimiento "Altos de Curalicó".

<i>Análisis de suelo</i>	
<i>Nº Registro</i>	6833
<i>Profundidad (cm)</i>	0-20
<i>Materia Orgánica (%)</i>	1,95
<i>Fósforo (mg.kg-1)</i>	20,83
<i>pH (1:2.5)</i>	6,21
<i>Cond. Eléctrica (dS.m-1)</i>	0,131
<i>S-SO4 (ppm)</i>	6,17
<i>N- de Nitratos (ppm)</i>	6,48
<i>Nitrógeno org (%)</i>	0,0978

Los valores obtenidos por el análisis superan levemente a los informados por Peña Zubiarte y D'Hiriart (2000) quienes publicaron en los datos analíticos de la serie, un contenido de materia orgánica de 1,5% en el horizonte A1 de 8 a 25 cm de profundidad y un porcentaje de nitrógeno orgánico total de 0,089.

Esta zona posee una gran amplitud térmica, la cual se posiciona en los 15.4°C anuales, este valor se debe a la ubicación continental de la provincia de San Luis. La temperatura media anual ronda los 15°C, teniendo máximas de 43.3°C y mínimas de -14.2°C. Los meses de octubre a marzo muestran un marcado semestre cálido y las ocurrencias de primeras y últimas heladas en esta zona, se producen en los meses de marzo-abril y octubre respectivamente (Peña Zubiarte y d'Hiriart, 2000).

En cuanto al período libre de heladas, en la serie histórica comprendida entre 1968 y 1996 fue de 189 días, siendo la fecha media de primera helada el 22 de abril \pm 20 días y la fecha media de última helada el 15 de octubre \pm 17 días, registrando la temperatura a 1.5 metros de altura, en abrigo meteorológico (Orta y Federighi, 1997). Según datos más actuales, proporcionados por la Universidad Nacional de San Luis, el período libre de heladas abarca 156 días (Orta y Rojas, 2012).

Las condiciones climáticas de la campaña agrícola 2021/22 no fueron las ideales para la obtención de altos rendimientos en los cultivos de verano en la zona, ya que si bien las lluvias fueron concentradas en el periodo estival, como lo afirman Peña Zubiate y d'Hiriart (2000), y suficientes durante la implantación y estados vegetativos iniciales, estuvieron ausentes durante la primera quincena de enero, con el agravante de que en ese período predominaron temperaturas elevadas, con máximas superiores a 35°C durante más de 10 días, provocando un marcado estrés hídrico y “golpe de calor” en todo el cultivo, incluyendo al ensayo.

A fines de enero se registraron abundantes precipitaciones, con una marca particular de 120 mm en un solo día (Figura 5). Esta recuperación le permitió al cultivo transitar su periodo crítico sin déficit hídrico, no obstante, en las últimas etapas del llenado de grano dadas entre la segunda quincena de febrero y primera de marzo, se observaron nuevamente condiciones de estrés por sequía.

De acuerdo al modelo climático propuesto por Peña Zubiate y d'Hiriart (2000), la probabilidad de ocurrencia de heladas tempranas en el mes de marzo es menor al 50%. Sin embargo, el 26 de marzo de 2022 se registró una helada en la región que afectó notoriamente la productividad del ensayo, fundamentalmente por la interrupción del ciclo del cultivo, incidiendo este fenómeno en especial, sobre el peso de los granos, uno de los componentes principales del rendimiento (Figura 6).

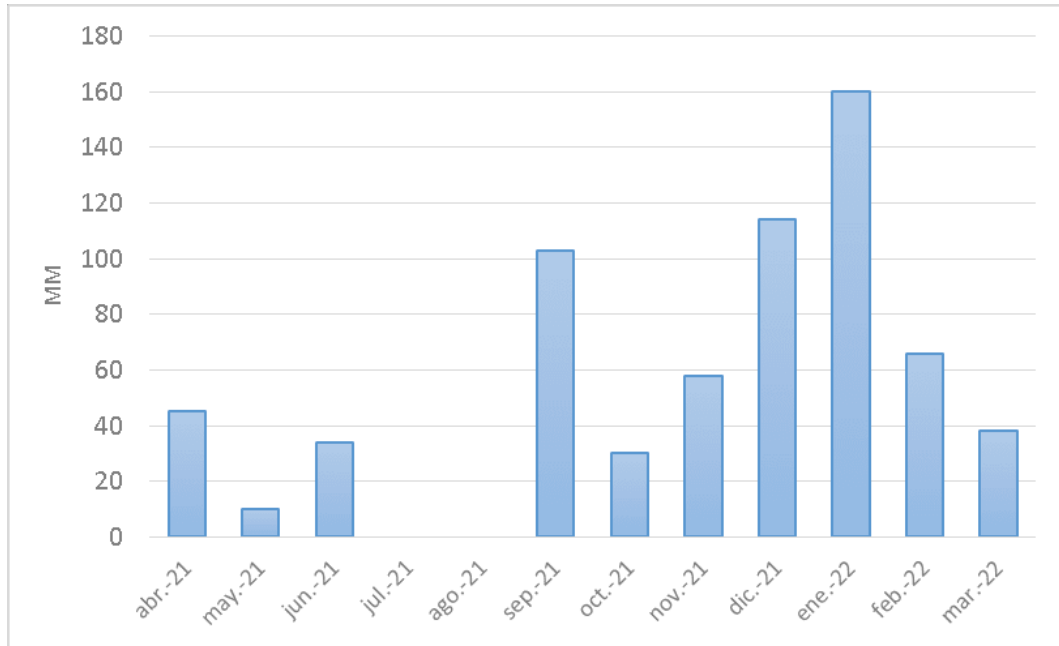


Figura 5. Precipitaciones registradas en el campo experimental de la UNSL "Altos de Curalicó", correspondientes a la campaña agrícola 2021/22.

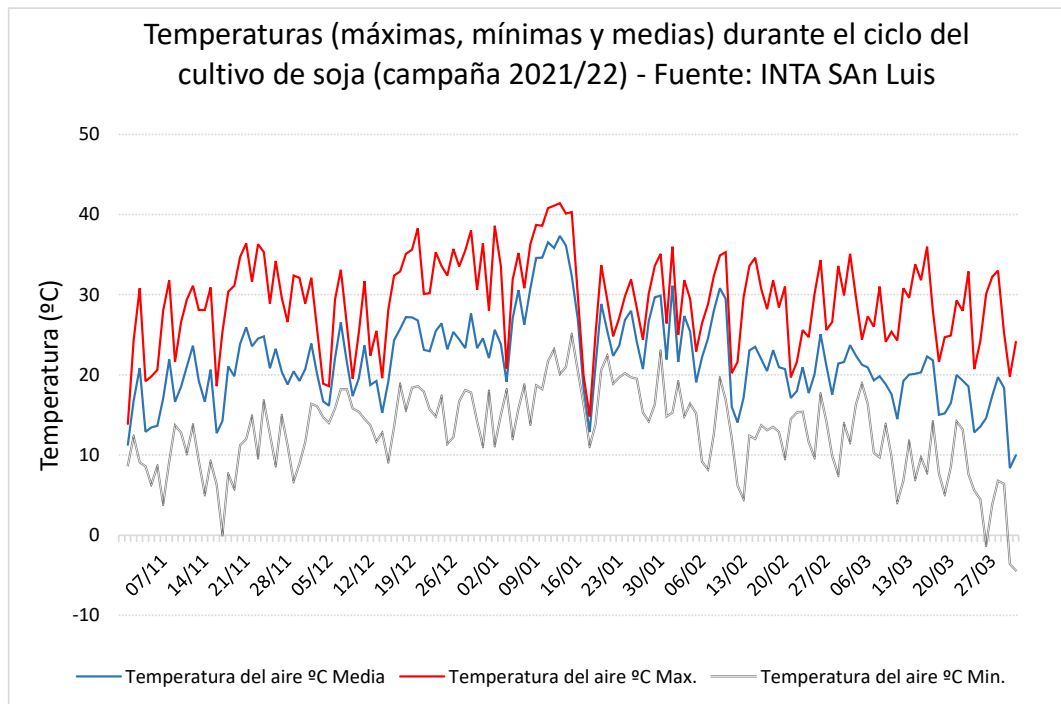


Figura 6. Temperaturas máximas, medias y mínimas durante el ciclo del cultivo de soja (Nov/21 a Mar/22). Fuente INTA San Luis.

Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en una parcela de 5 surcos, distanciados a 0,525 m entre ellos y una longitud de 10 m (Figura 8), donde se sembró un cultivar de soja. El ensayo se basó en la aplicación de un bioestimulante foliar utilizando una mochila pulverizadora manual. Los tratamientos consistieron en 5 dosis de bioestimulante (Figura 7), incluyendo un testigo sin pulverizar, aplicados en dos momentos del ciclo de la soja (V4 y R3 de la escala de Fehr y Caviness, 1977).

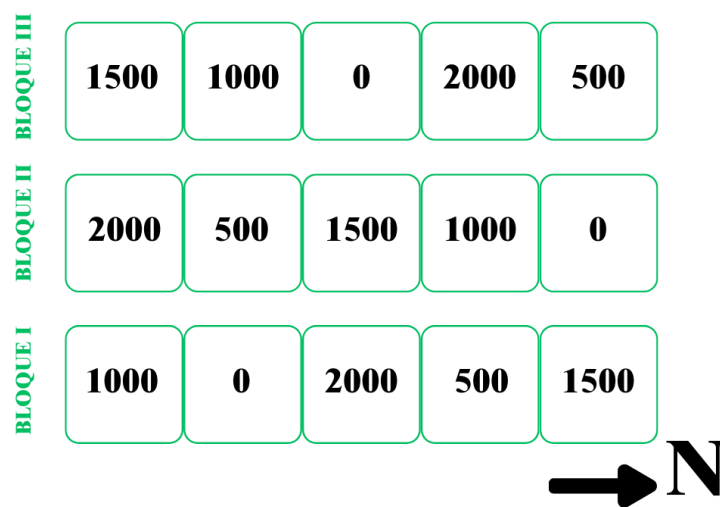


Figura 7. Esquema del diseño experimental en donde cada dosis de producto bioestimulante representa un tratamiento. Los valores se expresan en equivalente a cc/ha.



Figura 8. Vista satelital del experimento en el campo experimental "Altos de Curalicó".

Material experimental

El Bioestimulante evaluado, cuya denominación comercial es ¡QFort®, fue provisto por la empresa CLEVER GREEN BIOTECH, LLC DBA IQBIOTECH,

propietaria de la tecnología y fabricante de la misma; DK SRL es el agente comercial de la empresa mencionada y Prodinsa Argentina S.A., es la distribuidora del fabricante para cultivos extensivos en Argentina.

La composición del producto es: Nitrógeno 5,70%, aminoácidos libres 22,61% y oligopéptidos 32% obtenidos por hidrólisis de proteínas. La formulación es líquida, apta para fertirriego y uso foliar (Figura 9).



Figura 9. Presentación del producto comercial iQforte® utilizado en el experimento.

Implantación del cultivo y manejo del experimento

Previo a la siembra se tomaron muestras de suelo para determinar niveles de fertilidad (materia orgánica, nitrógeno y fósforo), así como también el contenido de humedad en el perfil de suelo hasta los 2 m de profundidad, determinaciones realizadas en el Laboratorio de Calidad de Suelos y Aguas de la FICA-UNSL.

Durante todo el ciclo del cultivo, se realizaron mediciones de componentes de crecimiento, determinaciones y registros de las condiciones ambientales, con el fin de evaluar el comportamiento del mismo, frente a la aplicación del bioestimulante.

Siembra de soja

La siembra se realizó el 16 de noviembre del año 2021 de forma mecanizada con una máquina de siembra directa marca Agrometal TX Mega Gen 3, de 16 surcos

distanciados a 0,525 m. Las semillas utilizadas fueron de la variedad 50i17 IPRO STS, perteneciente al semillero Don Mario, la misma es de ciclo V corto con crecimiento indeterminado y 137 días de emergencia a R8 (Don Mario Semillas, 2024), inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum*. El cultivo antecesor fue maíz.

La densidad de siembra fue de 18 semillas por metro lineal (34,3 semillas/m²), fertilizando en esta instancia con 40 kg/ha de superfosfato simple (P 9% – S 12% – Ca 20%).

En pre-emergencia del cultivo se aplicó Flumioxazin, utilizado para el control pre-emergente o post-emergente temprano de malezas de hoja ancha (principalmente *Amaranthus* spp. “yuyo colorado”) y supresión de gramíneas anuales.

Demarcación del ensayo

La demarcación de las parcelas se llevó a cabo durante el estadio V2 de la soja, utilizando la escala de Fehr y Caviness (1977) como referencia. Este momento específico del ciclo de crecimiento de la planta se seleccionó por su relevancia para asegurar condiciones comparables y precisas durante el estudio experimental.

La misma se realizó con estacas para poder visualizar con facilidad las distintas unidades experimentales a lo largo del ciclo del cultivo.

Seguimiento del cultivo

El control de plagas (malezas, insectos y enfermedades) se realizó mediante control químico y manual, sujeto a la incidencia de estas y a los elementos meteorológicos.

El análisis y seguimiento del cultivo se determinó en base a la escala fenológica de Fehr y Caviness (1977), determinando el estado fenológico del cultivo cada vez que se visitó el experimento.

Aplicación de bioestimulantes

La aplicación de bioestimulante vía foliar fue realizada con una mochila pulverizadora manual, definiendo así 5 tratamientos correspondientes a dosis de producto comercial aplicado (Tabla 3):

Tabla 3. Dosis correspondientes a cada tratamiento.

TRATAMIENTO	TESTIGO	1	2	3	4
DOSIS (CC/HA)	0	500	1000	1500	2000

Cada tratamiento o dosis debió ser dividida en partes iguales y repartida su aplicación en dos momentos del ciclo del cultivo (V4 y R3) según el protocolo de trabajo acordado con la empresa (Figura 10).

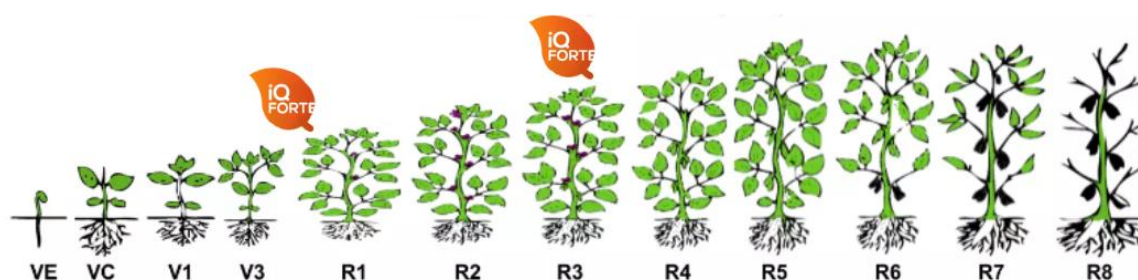


Figura 10. Momentos de aplicación del bioestimulante basados en la escala fenológica de soja propuesta por Fehr y Caviness, 1977.

Parámetros de crecimiento de la soja

Altura de plantas: dentro de cada parcela se midieron plantas al azar utilizando una regla, desde la base del tallo hasta el último brote, obteniendo un promedio que representa a la unidad experimental evaluada (Figura 11). Se realizó antes de cada aplicación del bioestimulante y previo a la cosecha.



Figura 11. Medición de altura de plantas de soja.

Índice verdor: se determinó utilizando un clorofilómetro electrónico, marca Spad Minolta 500. La lectura fue realizada en dos estadios R3 y R6, obteniendo valores que estiman el contenido de clorofila. La medición se realizó sobre el foliolo central de la última hoja desplegada en 10 plantas al azar de cada parcela.

Densidad: al momento de la cosecha se registró el número de plantas por superficie.

Número de nudos y hojas: se cuantificaron el número de hojas y el de nudos en el estadio R3 y este último, también en R8.

Las variables recién mencionadas que fueron medidas sobre las mismas plantas en diversos momentos del ciclo del cultivo, se consideraron como “medidas repetidas en el tiempo”, planteando para el análisis como un diseño de parcelas divididas (factores anidados), en donde la dosis de bioestimulante aplicado representa a la parcela principal y el momento de medición, a la sub-parcela.

Cosecha

Al finalizar el ciclo del cultivo, el 31 de marzo se cosecharon manualmente 3 metros lineales sobre los tres surcos centrales de cada parcela.

Las plantas se cosecharon completas, cortando al ras del suelo.

Adicionalmente se cosecharon las plantas de un metro lineal para determinar los componentes del rendimiento.

Componentes del rendimiento de la soja

Los componentes del rendimiento se evaluaron en el Laboratorio de Calidad de Semillas y Granos de la UNSL. Estas variables incluyen: número de vainas, número de granos, peso de semillas, biomasa aérea total, biomasa vegetativa y reproductiva, y número de ramificaciones por planta. Complementariamente se clasificaron las vainas según el número de granos que contenían y así obtener las categorías: número de vainas sin granos (NV0), con un grano (NV1), con dos granos (NV2), con tres granos (NV3) y con cuatro granos por vaina (NV4).

Trilla

La trilla de los tres metros lineales cosechados, se realizó con una trilladora mecánica estática.

El rendimiento en grano de cada tratamiento se determinó a partir del peso de las semillas sobre los 3 metros lineales de cada parcela, en balanza digital, extrapolando los resultados a kg/ha.

Calidad del grano

Las muestras de los granos fueron remitidas al Laboratorio de Calidad Industrial y Valor Agregado de Cereales y Oleaginosas de la EEAA INTA Marcos Juárez (Córdoba) para obtener valores de concentración proteica y aceites de las mismas y poder establecer posibles relaciones con los tratamientos ensayados.

Análisis de resultados

En el marco del presente Trabajo Final, se realizaron análisis estadísticos de los datos: Medidas resumen, Modelos Lineales Mixtos (tomando como efecto fijo a las dosis de bioestimulante y a los bloques como efecto aleatorio, se realizó la revisión de supuestos de normalidad y homocedasticidad), se utilizaron Test a Posteriori (LSD Fischer $\alpha=0,05$) para la comparación de medias, Análisis de Correlación de Pearson y de Componentes Principales. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software estadístico INFOSTAT® (Di Rienzo, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología

Las etapas fenológicas se determinaron en base a la escala de Fehr y Cavinnes (1977), ocurriendo en los siguientes momentos:

- 22 de diciembre: V4. Sucede cuando la tercera hoja trifoliada está totalmente desplegada en el nudo n°4, y en el nudo n°5 los bordes de cada uno de los folíolos de la cuarta hoja trifoliada no se tocan.
- 27 de enero: R3. Comienza la formación de vainas. Se puede observar una vaina de 5 mm de largo aproximadamente, en uno de los cuatros nudos superiores del tallo principal.
- 9 de marzo: R6. En este estadio los granos se encuentran totalmente desarrollados. Hay una vaina en cualquiera de los 4 nudos superiores del tallo principal, con un grano verde que llena la cavidad de dicha vaina (Figura 12).



Figura 12. Vaina en estado R6.

- 27 de marzo: R8. Madurez completa. Puede observarse que el 95% de las vainas han alcanzado el color de madurez (Figura 13).



Figura 13. Equipo de trabajo sobre ensayo de soja en su estado de madurez.

Parámetros de crecimiento y desarrollo de la soja

Densidad poblacional, altura de plantas y número de nudos

La densidad de plantas logradas puede verse disminuida con el pasar del tiempo por adversidades abióticas, como el estrés hídrico, térmico y granizo principalmente, observándose este fenómeno con frecuencia en los sistemas productivos de San Luis.

El recuento de plantas dentro de las unidades experimentales a cosecha, no mostró diferencias estadísticas significativas entre dosis, como hubiera sido esperado (Du Jardín, 2015). El rango de plantas a cosecha fue de 26,4 a 27,5 por metro cuadrado.

Las alturas de las plantas, tomadas desde el suelo y hasta el último nudo completamente desarrollado no mostraron diferencias significativas a las dosis utilizadas cuando se efectuó un análisis de medidas repetidas en el tiempo (Tabla 4 y Figura 14).

Tabla 4. Análisis de medidas repetidas en el tiempo para la variable altura de plantas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
AP	30	0,99	0,98	3,19

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5425,57	19	285,56	65,84	<0,0001
Dosis	7,41	4	1,85	0,53	0,7162
Bloque	31,07	2	15,54	3,58	0,0671
Dosis*Bloque	27,82	8	3,48	0,80	0,6155
Momento	5354,69	1	5354,69	1234,56	<0,0001
Dosis*Momento	4,58	4	1,14	0,26	0,8945
Error	43,37	10	4,34		
Total	5468,94	29			

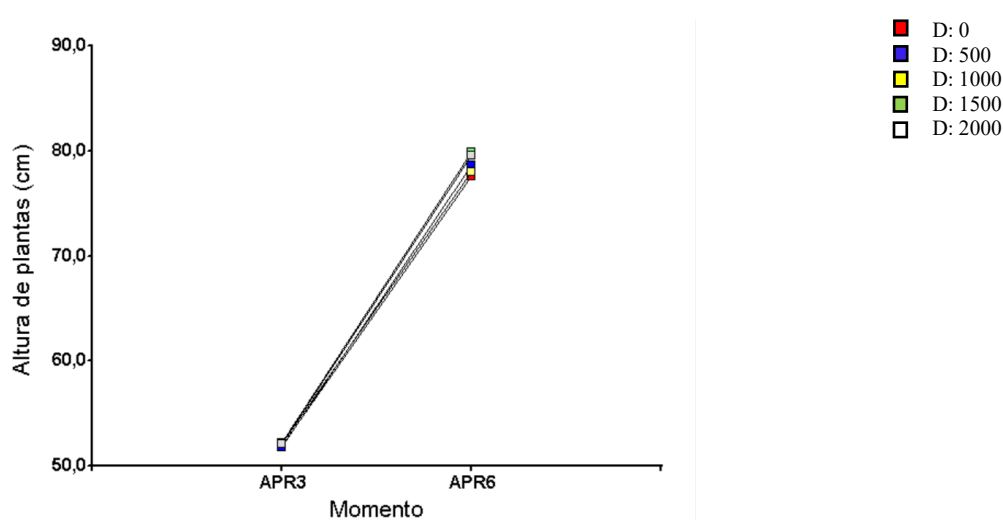


Figura 14. Alturas promedio de plantas por dosis medidas en dos momentos (R3 y R6).

El número de nudos por planta es un componente asociado a la altura de las mismas, entendiéndose que a mayor número de nudos es mayor la altura alcanzada.

Así fue que también el análisis efectuado no arrojó diferencias entre los tratamientos, antes ni después de cada aplicación (Tabla 5 y Figura 15).

Tabla 5. Análisis de medidas repetidas en el tiempo para la variable número de nudos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NN	30	0,98	0,96	6,30

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	460,43	19	24,23	33,97	<0,0001
Dosis	0,90	4	0,22	0,48	0,7481
Bloque	0,08	2	0,04	0,06	0,9440
Dosis*Bloque	3,72	8	0,46	0,65	0,7221
Momento	453,19	1	453,19	635,31	<0,0001
Dosis*Momento	2,54	4	0,64	0,89	0,5041
Error	7,13	10	0,71		
Total	467,56	29			

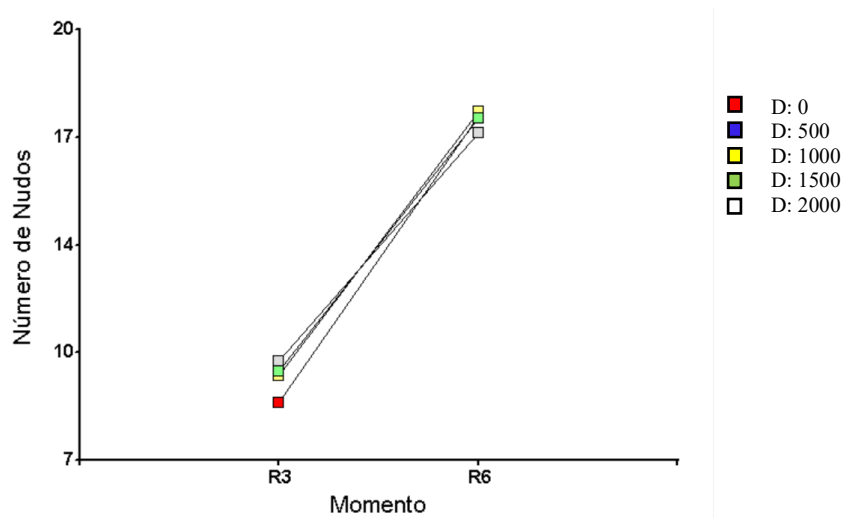


Figura 15. Número de nudos por dosis medidas en dos momentos (R3 y R6).

Índice de verdor

Los análisis estadísticos de las lecturas del clorofilómetro posteriores a las aplicaciones del bioestimulante y considerándolo como medidas repetidas en el tiempo, no mostraron respuestas significativas para las dosis aplicadas entre los momentos R3 y R6 (Tabla 6 y Figura 16). Este hecho posiblemente se debe a que el instrumento mide, a través del índice de verdor, la concentración de clorofila, estimador del contenido de nitrógeno en hoja que, por la alta nodulación que presentaron las plantas del ensayo desde estadios tempranos pudo “enmascarar” la incidencia de las diferentes dosis de bioestimulante, en las etapas en las que se realizaron las lecturas (Figura 17 y 18).

Tabla 6. Análisis de medidas repetidas en el tiempo para la variable índice de verdor

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
SPAD	30	0,98	0,93	2,40

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	394,57	19	20,77	22,06	<0,0001
Dosis	9,06	4	2,27	3,39	0,0669
Bloque	1,72	2	0,86	0,91	0,4325
Dosis*Bloque	5,36	8	0,67	0,71	0,6790
Momento	368,20	1	368,20	391,15	<0,0001
Dosis*Momento	10,23	4	2,56	2,72	0,0911
Error	9,41	10	0,94		
Total	403,98	29			

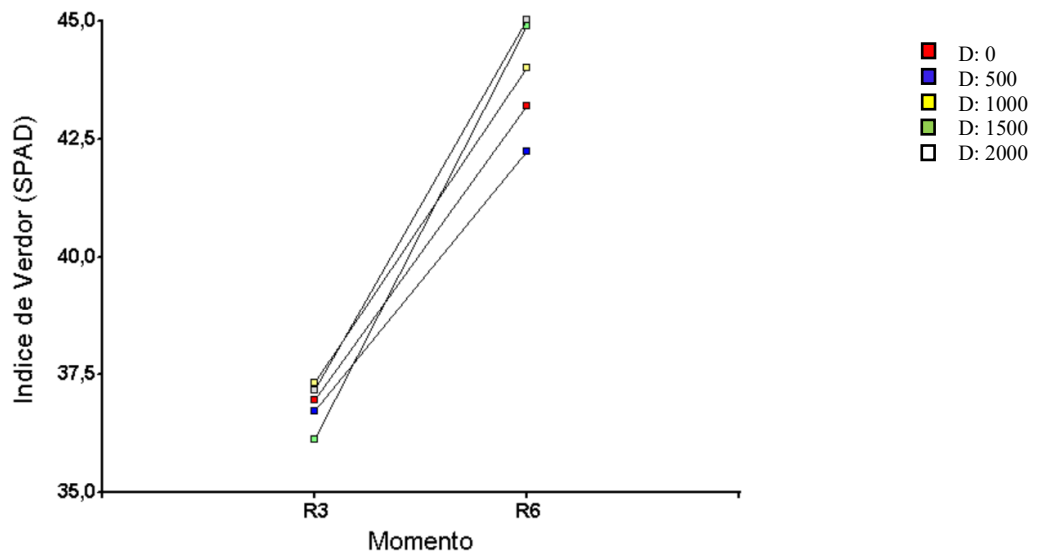


Figura 16. Índice SPAD por dosis medidos en dos momentos.



*Figura 17. Presencia abundante de nódulos radicales (*Bradyrhizobium japonicum*), observados en las plántulas de soja desde etapas tempranas.*



Figura 18. Mediciones tomadas con Clorofilómetro Spad Minolta 500

Número de hojas

El recuento de hojas fotosintéticamente activas por planta, se realizó en los mismos momentos que las determinaciones anteriores, con el objetivo de desacoplar este componente de otros, como el número de nudos por planta que, si bien presentan lógicamente una asociación positiva, en este tipo de experimentos el fenómeno de senescencia foliar suele atenuarse con el incremento de la dosis de

bioestimulante asperjado. Esto puede deberse a la mejora en la adsorción de nutrientes y aumento de su actividad metabólica, tal como lo describió Basak (2008).

Las plantas que recibieron la dosis más alta (2000 cc/ha) mantuvieron hasta R3 más de 17 hojas trifoliadas activas, mientras que las que no recibieron el producto llegaron a este momento con 13,5 hojas activas en promedio. El análisis estadístico agrupa a las dosis 2000, 1500 y 500 cc/ha con mejor respuesta para esta variable, diferenciándose solo la mayor de 0 y 1000 cc/ha (Tabla 7).

Tabla 7. Test de comparación de medias LSD Fisher ($\alpha=0.05$) para la variable número de hojas por planta.

<i>Dosis (cc/ha)</i>	<i>Medias</i>	<i>E.E.</i>	
2000	17,30	0,49	A
500	15,47	1,03	A B
1500	15,33	1,84	A B
1000	14,07	1,34	B
0	13,53	1,18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Rendimiento y sus componentes

Rendimiento

La variable rendimiento de granos mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 8).

Tabla 8. Rendimientos promedios con respecto a las distintas dosis de bioestimulante utilizadas.

<i>Dosis</i>	<i>Rendimiento promedio (kg/ha)</i>
0	2046.70
500	2237.97
1000	2346.50
1500	2583.67
2000	2230.43

Todas las dosis superaron al testigo (sin aplicación de bioestimulante), obteniendo rendimientos que lo superan en rangos de 230 a 583 kg/ha, similar a lo reportado por Bertone *et al.* (2019) utilizando un fertilizante nitrogenado foliar.

La dosis de ¡QFort® correspondiente al tratamiento de 1500 cc/ha, superó estadísticamente a los tratamientos de 2000, 1000 y 500 cc/ha, así como también al testigo sin pulverizar.

Entre los tratamientos de 2000, 1000 y 500 cc/ha no se observaron diferencias estadísticas al nivel de significancia estudiado (Tabla 9).

Tabla 9. Test de comparación de medias LSD Fisher ($\alpha=0.05$) para la variable rendimiento (kg/ha).

Dosis (cc/ha)	Medias (kg/ha)	E.E.	
1500	2583,67	22,72	A
1000	2346,50	17,32	B
500	2237,97	22,02	B
2000	2230,43	60,67	B
0	2046,70	3,04	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Número de granos

El análisis estadístico para número de granos por unidad de superficie, componente principal del rendimiento, mostró diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 10), siendo el testigo superado estadísticamente por los tratamientos de 1000 y 2000 cc/ha del bioestimulante (Figura 19).

Tabla 10. Medidas de ajuste del modelo estimado y pruebas de hipótesis marginales para la variable número de granos por metro cuadrado y factor dosis de bioestimulante.

<i>N</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	<i>logLik</i>	<i>Sigma</i>	<i>R² 0</i>	<i>R² 1</i>
15	155,25	158,58	-66,62	137,69	0,47	0,67

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	8	1330,56	<0,0001
Dosis	4	8	12,79	0,0015

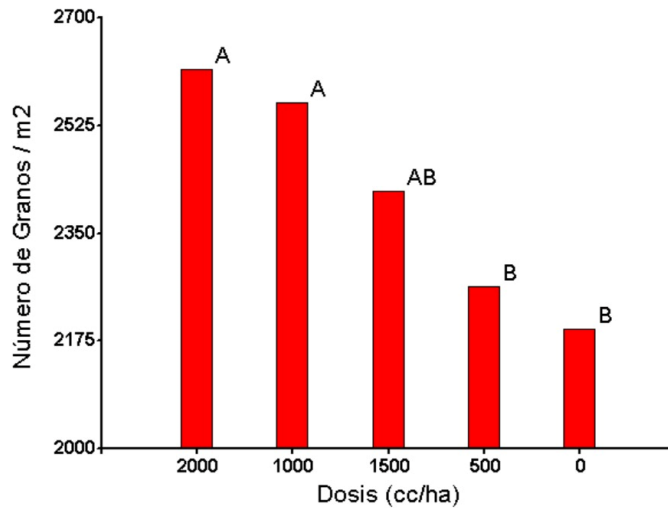


Figura 19. Número de granos por unidad de superficie y dosis de bioestimulante. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fischer $\alpha=0,05$)

Peso de 1000 granos

Luego de analizar los datos obtenidos en el ensayo, determinamos que no hubo efecto de las dosis de bioestimulante utilizadas para la variable peso de mil semillas (Figura 20).

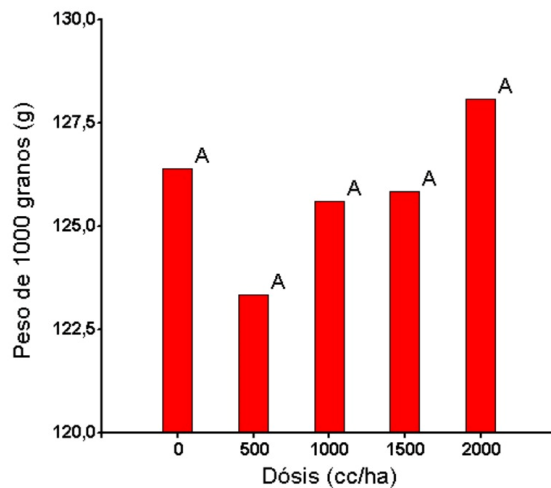


Figura 20. Peso de mil granos y dosis de bioestimulantes. Letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticas significativas (LSD Fischer $\alpha=0,05$)

Se estima que el cultivo sufrió un acortamiento en su ciclo de entre 10 y 14 días respecto a lo esperado, debido a una helada temprana, interrumpiéndolo en la etapa de llenado de granos, motivo por el cual el ciclo total del cultivo se acortó a 123 días desde la siembra a R8. El peso final de los granos también se vio afectado por el mismo motivo, alcanzando promedio general para todo el

ensayo de 125 g cada mil granos, cuando la descripción por parte del semillero, indica valores mayores de 160 g para este atributo.

Número de vainas

Las vainas, estructuras reproductivas que contienen a los granos, se ubican en racimos de números variables sobre los nudos reproductivos de la planta. Los recuentos de las vainas por planta al momento de la cosecha arrojaron valores distintivos entre las medias de los tratamientos, verificándose estadísticamente.

Las tres dosis más altas de ¡QFort® (1000, 1500 y 2000 cc/ha) obtuvieron mayor número de vainas, pero solo pudiendo contrastar a 1000 y 2000 cc/ha con el tratamiento testigo sin aplicar (Tabla 11).

Tabla 11. Test de comparación de medias LSD Fisher ($\alpha=0.05$) para la variable número de vainas.

<i>Dosis</i>	<i>Medias</i>	<i>E.E.</i>			
2000	319,77	2,90	A		
1000	304,00	11,35	A	B	
1500	281,80	22,56	A	B	C
500	274,40	14,12		B	C
0	258,30	10,12			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Número de granos por vaina

La categorización de vainas según el número de granos formados en cada una de ellas, arrojó valores que se muestran en la Figura 21.

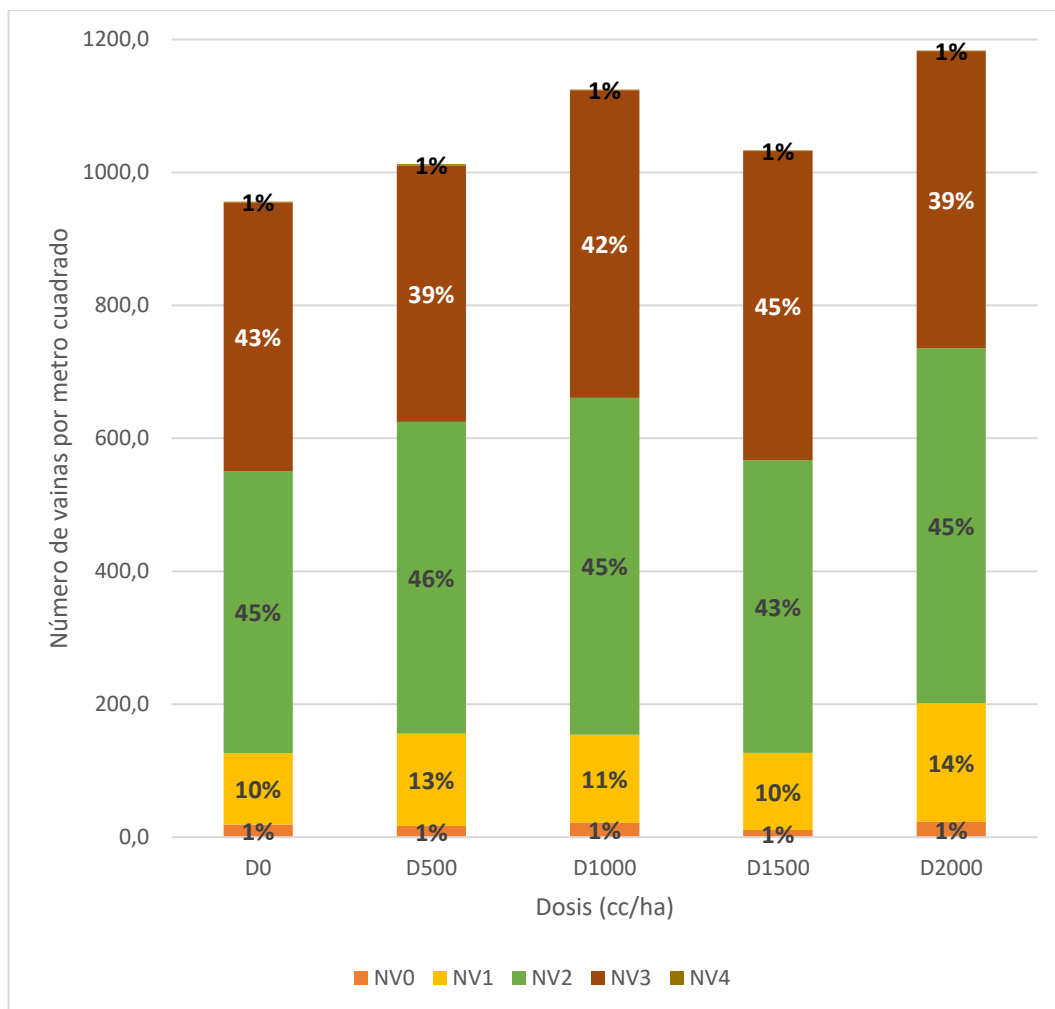


Figura 21. Número de vainas por unidad de superficie con una, dos, tres y cuatro semillas. Los valores interiores representan los porcentajes de vainas con 0, 1, 2, 3 y 4 granos (NV0, NV1, NV2, NV3 y NV4 respectivamente).

Los análisis estadísticos no encontraron diferencias significativas entre las dosis evaluadas para esta variable en estudio.

Análisis de la biomasa

La biomasa es uno de los componentes más relevantes para analizar la crecimiento y productividad del cultivo ya que, podemos evaluar la eficiencia de este en la utilización de recursos y la conversión en rendimiento. Los resultados del análisis para biomasa aérea total muestran las siguientes medias ajustadas, errores estándar y test de comparación de medias por dosis (Tabla 12):

Tabla 12. Test de comparación de medias LSD Fisher ($\alpha=0.05$) para la variable biomasa aérea total.

<i>Dosis (cc/ha)</i>	<i>Medias (g/m lineal)</i>	<i>E.E.</i>
1000	528,33	15,71 A
2000	506,33	15,71 A
500	494,00	15,71 A
1500	481,67	15,71 A B
0	436,00	15,71 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Se observa que las dosis de 1000, 2000 y 500 cc/ha presentan medias significativamente superiores en comparación con la dosis de 0 cc/ha (Tabla 13).

En el análisis de la biomasa vegetativa, compuesto por tallos, ramas y carpelos, provenientes de una muestra de un metro lineal, los resultados son los siguientes:

Tabla 13. Test de comparación de medias LSD Fisher ($\alpha=0.05$) para la variable biomasa vegetativa.

<i>Dosis (cc/ha)</i>	<i>Medias (g/m lineal)</i>	<i>E.E.</i>
1000	308,33	11,54 A
500	287,33	11,54 A
1500	279,00	11,54 A
2000	277,33	11,54 A
0	231,00	11,54 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Todos los tratamientos que recibieron bioestimulante presentaron medias similares, indicando que no hay diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellas. En contraste, el testigo presenta un valor significativamente inferior, agrupándose en una categoría diferente.

A continuación, los resultados de la biomasa reproductiva, compuesta por los granos provenientes de una muestra de un metro lineal:

Tabla 24. Test de comparación de medias LSD Fisher ($\alpha=0.05$) para la variable biomasa reproductiva.

<i>Dosis (cc/ha)</i>	<i>Medias (g/m lineal)</i>	<i>E.E.</i>
2000	229,00	5,47 A
1000	220,00	5,47 A B
500	206,67	5,47 B
0	205,00	5,47 B
1500	202,67	5,47 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

En este caso, la dosis de 2000 cc/ha es la única que supera al testigo, muestra la media más alta, sin diferencias significativas respecto a 1000 cc/ha. Las dosis 500, 0 y 1500 cc/ha presentan valores más bajos y se agrupan con letras comunes, lo que indica que no hay diferencias significativas entre ellas (Tabla 14).

Número de ramificaciones

El análisis para la variable número de ramificaciones mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Las dosis de 500 cc/ha y 2000 se ubicaron a un mismo nivel de significancia, superando la dosis de 1000 cc/ha, al testigo, a la dosis de 500 cc/ha y a la de 2000 cc/ha (Figura 22).

La aplicación de 2000 cc/ha no logró superar al testigo. La causa puede deberse a que las plantas pertenecientes a este tratamiento fueron uno de los que mayor altura y número de hojas obtuvo, por lo que puede compensar el bajo valor en esta variable analizada.

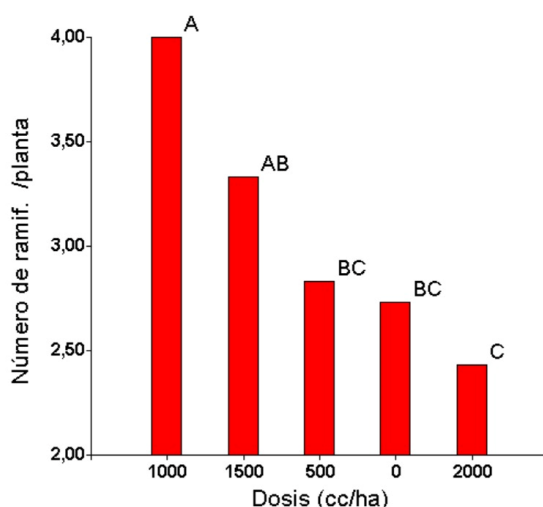


Figura 22. Número de ramificaciones por planta en respuesta a las dosis de bioestimulante. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (LSD Fischer $\alpha=0,05$).

Valores de concentración proteica y de aceite en las muestras de soja

La concentración proteica y de aceite no tuvieron respuestas significativas a las dosis de bioestimulante utilizadas. Sin embargo, cabe resaltar que estas variables no dependen solo de su genotipo sino también, de las condiciones ambientales.

Existe una conocida correlación negativa entre ambas variables, visualizada en la Figura 24 del análisis de componentes principales y en la Tabla 12 correspondiente al análisis de correlación de Pearson. A continuación, se muestra la

sumatoria de las concentraciones de aceite y proteína denotando su estabilidad ante los tratamientos evaluados (Figura 23).

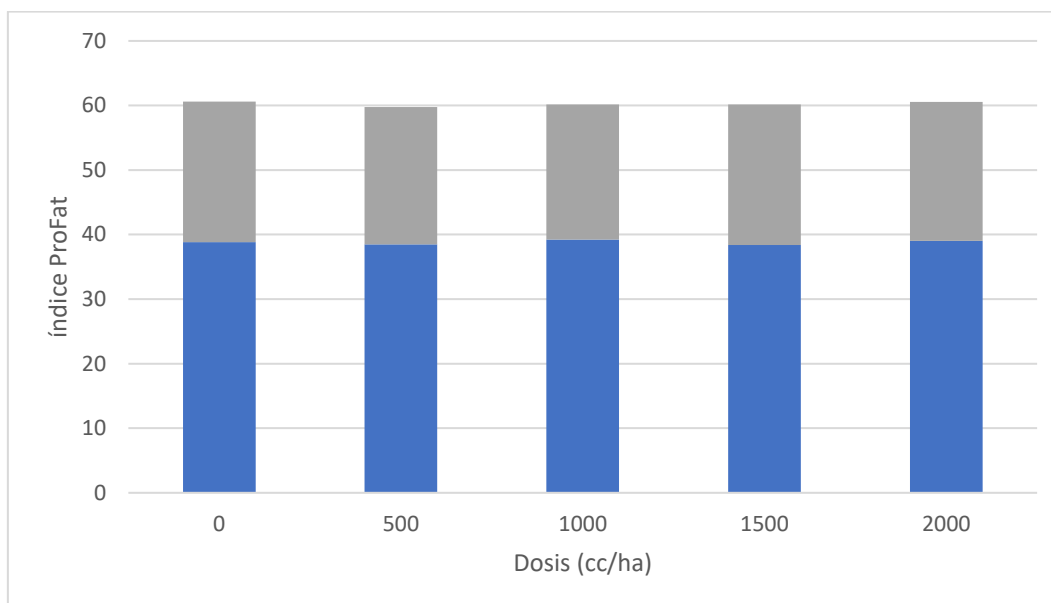


Figura 23. Índice ProFat de concentración de proteína (barra azul) y aceite (barra gris) con respecto a los distintos tratamientos.

Análisis de Correlación

El análisis de correlación lineal estudia la fuerza y dirección de la relación lineal entre las variables estudiadas. El coeficiente de correlación (r) evalúa esta asociación, variando entre -1 y 1. Valores positivos de r (hasta 1) indican correlación positiva, mientras que valores negativos (hasta -1) indican correlación negativa. Al procesar los datos obtenidos a campo, se realizaron análisis de correlaciones (Pearson) para observar cuáles de las variables medidas explican mejor el RTO y qué relación existe con las dosis del Bioestimulante aplicado (Tabla 15).

Tabla 35. Análisis de correlación entre variables estudiadas. Solo se expresan los valores de correlación con un p -valor $\leq 0,05$.

	OIL%	NG/m2	RTO/ha	P1000	PRO%	Dosis
OIL%	x	-	-	-	-0.62	-
NG/m2		x	-	-	-	0.59
RTO/ha			x	-	-	0.69
P1000				x	-	-
PRO%					x	-
Dosis						x

Las correlaciones válidas son las que tienen p-valor menor a 0.05, en este caso podemos observar una correlación negativa entre porcentaje de proteína y aceite ya que a medida que aumenta el contenido de aceite en los granos, el contenido de proteína tiende a disminuir, y viceversa.

El análisis de correlación sugiere que la aplicación de bioestimulante tiene un impacto significativo en dos aspectos claves: rendimiento y número de granos. Esto refuerza la importancia de optimizar dosis de bioestimulante para maximizar la producción.

Análisis de componentes principales

Con los datos obtenidos del ensayo se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) que se visualizó en un gráfico Biplot (Figura 24), donde los círculos representan las dosis del bioestimulante ¡QFort® y los vectores las variables (rendimiento del cultivo y sus principales componentes).

La siguiente gráfica, conformada por las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2), explica el 73,9% de la variabilidad total del conjunto de datos analizados.

La CP1 diferencia claramente las dosis de bioestimulante (D1000, y D2000) ubicándolas a la derecha de dicho plano factorial del testigo sin tratar (D0), ubicado a la izquierda del mismo, explicando dichas dosis la mayor parte de la variabilidad de las variables. Las variables rendimiento, índice verde (SPAD) y número de granos por unidad de superficie se asocian a las dosis de 1000cc/ha y 2000 cc/ha, siendo estos resultados coherentes con los de los modelos lineales mixtos para rendimiento y número de granos.

Analizando la CP2, se comprueba la relación inversa entre concentración de aceite y proteína del grano, mostrando a su vez ausencia de correlación entre el rendimiento con dichos parámetros de calidad. Las variables índice verde (SPAD) y número de hojas en R3 sí se asocian estrechamente con el rendimiento.

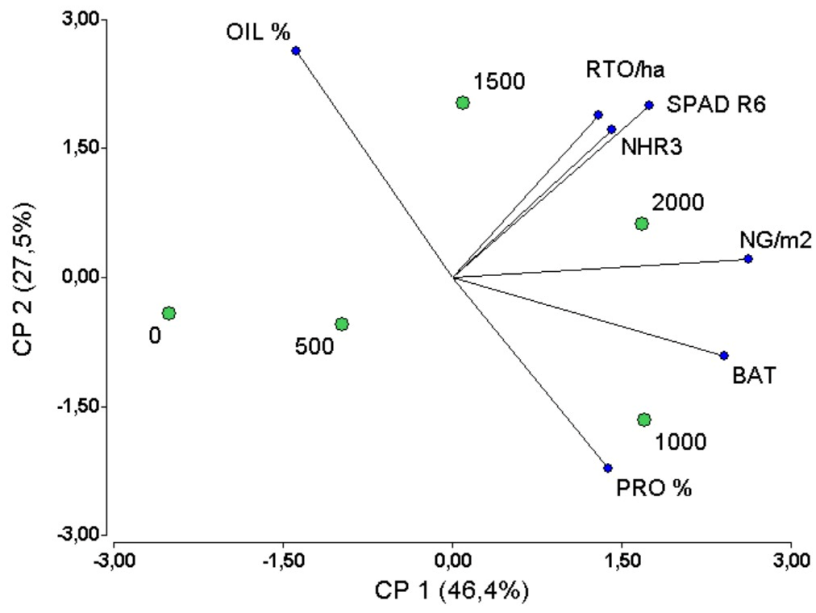


Figura 24. Gráfico Biplot que representa el análisis de los componentes principales.

CONCLUSIONES

En las condiciones experimentales de San Luis, donde el ensayo se realizó bajo un régimen climático caracterizado por amplitudes térmicas considerables y períodos de estrés hídrico, el cultivo de soja mostró un comportamiento relativamente frágil. Esto es relevante debido a la naturaleza del suelo arenoso, con baja capacidad de retención de agua, y la exposición a eventos climáticos extremos como olas de calor y heladas tempranas.

La aplicación de bioestimulante ecológico demostró ser una herramienta efectiva para mitigar algunos de estos desafíos. Todos los tratamientos aplicados superaron al testigo en rendimiento, destacándose la dosis de 1500 cc/ha que a su vez mejora la respuesta de las dosis restantes. Este incremento se asoció a una mayor densidad de vainas y número de granos, así como a una mejor estructura vegetativa, lo que sugiere una respuesta favorable del cultivo a estas concentraciones.

A pesar de la mejora en ciertos parámetros, la respuesta no fue uniforme en todos los aspectos medidos. Por ejemplo, el peso de mil granos no mostró diferencias significativas entre las distintas dosis, y el índice de verdor no presentó respuestas claras debido al elevado nivel de nodulación de las plantas, lo que pudo haber enmascarado el efecto del bioestimulante. Además, la incidencia de una helada temprana a finales de marzo interrumpió el llenado de granos, acortando el ciclo del cultivo en unos 10-14 días, afectando la productividad final.

Estos resultados subrayan la sensibilidad de la soja en San Luis y la importancia de optimizar las prácticas de manejo, incluyendo el uso estratégico de bioestimulantes. Las dosis más altas (2000 cc/ha) no aportaron beneficios adicionales significativos y podrían representar un uso ineficiente de los recursos. Así, la aplicación de bioestimulantes en dosis óptimas puede ser una estrategia viable para mejorar el rendimiento y la estabilidad del cultivo en entornos de alta vulnerabilidad climática como San Luis, aunque se recomienda continuar con estudios para ajustar mejor las prácticas de manejo y maximizar la rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albrecht, L.; Braccini, A.; Scapim, C.; Avila, M.; Albrecht y Ricci, A. P. 2011. *Manejo de biorregulador nos componentes de produção e desempenho das plantas de soja*. Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 865-876.
- Basak, A. 2008. *Bioestimulators: definitions, classification and legislation*. En Gawronsaka, H. *Bioestimulators in modern agriculture: general aspects*. Disponible en: <https://docplayer.net/18259334-Bioestimulators-in-modern-agriculture-general-aspects-e-d-i-t-o-r-helena-gawronska.html>
- Bertolin, D. C.; De Sá, M. E.; Arf, O.; Junior, E. F.; Colombo, A. y Carvalho, F. L. 2010. *Aumento de la productividad de soja con la aplicación de bioestimulantes*. Bragantia, Campinas, v.69, n.2, pp.339-347.
- Bertone, M.; Martínez Álvarez, D.; Odetti, J. P.; Rossato, X. y Bongiovanni, M. 2019. *Fertilización foliar en estados reproductivos avanzados de soja*. VII Congreso MercoSoja, Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Bobillo, G. A. y Tarditi, M. 2017. *Soja: acción de ác. Fúlvicos y bioestimulantes sobre condiciones de estrés abiótico y componentes primarios del rendimiento*. Trabajo Final de Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa.
- Bolsa de Comercio de Rosario. 2022. *Informativo semanal*. Disponible en: https://cdi.mecon.gob.ar/bases/doc/bcr/info_sem/2045.pdf
- Campos, M. F.; Ono, E. O.; Boaro, C. S. y Rodrigues, J. D. 2008. *Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras*. Revista Biotemas, v.21, n.3, pp.53-63.
- Capitanelli, R. y Zamorano, M. 1972. *Geografía regional de la provincia de San Luis*. Boletín de Estudios Geográficos. N°74-77. Vol. XIX.

- Caride, S. 2016. *Evaluación del rendimiento y calidad de los granos de soja como respuesta a diversas fertilizaciones, en el establecimiento La Flora, Casbas, Argentina*. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina.
- Di Rienzo, J.A.; Casaoves, F.; Balzarini, M.; González, L.; Tablada, M. y Robledo C.W. *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Don Mario Semillas. 2024. Ficha Técnica DM50i17 IPRO STS. Disponible en: <https://www.donmario.com/uruguay/soja/dm-50i17-ipro-sts/>
- Du Jardin, P. 2015. *Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation*. *Rev. Scientia Horticulturae*, 196: 3-14 p. Disponible en: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=95812>
- Fehr, W. R. y Caviness, C. E. 1977. *Stage of soybean development*. Special Report 80, Coop. Ext. Service, Agriculture and Home Economics Exp. Stn Iowa State University, Ames, Iowa. USA. 21 pp.
- Forte Lay JA, OE Scarpati, AD Capriolo. 2008. *Precipitation variability and soil water content in Pampean Flatlands (Argentina)*. *Geofísica Internanional* 47 (4): 341–354.
- Franz Mamani, C. (2014). *Evaluación de bioestimulantes en la producción de arveja (Pisum sativum L.) bajo condiciones del Sector Omo en el Valle de Moquegua*. [Tesis de grado, Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas, Universidad Católica de Santa María]. Arequipa, Perú.
- Galván, M. y Collado, A. 2009. *Escurrimientos hídricos superficiales en la Cuenca Hidrográfica de “El Morro”, provincia de San Luis*. Información técnica N° 175. ISSN 0327-425X. Ediciones INTA.

- Garrahan, L. T. 2016. *Fertilización en soja: respuesta en rendimiento y calidad en Chacabuco, provincia de Buenos Aires*. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina.
- INASE (Instituto Nacional de Semillas). Sistema de Información Simplificado Agrícola. 2021. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_soja2020_2021.pdf
- Klahold, C.; Guimaraes, V.; Echer, M.; Klahold, A.; Contiero, R. y Becker, A. 2006. *Reposta da soja (Glicine max L. Merrill) a acao de bioestimulante*. Acta Scientiarum. Agronomy, vol. 28, núm., pp. 179-185 Universidade Estadual de Maringá Maringá, Brasil.
- Martínez, F. y Cordone G. 2015. *Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad del grano*. Revista virtual Fertilizar N°18. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2015/06/17.pdf>
- Meléndez, G. y Molina, E. 2002. *Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones*. Centro de investigaciones agronómicas. Universidad de Costa Rica. 142 pp.
- Moterle, L. M.; Santos, R. F.; Braccini, A. L.; Scapim, C. A. y Barbosa, M. C. 2008. *Efeito da aplicação de biorregulador no desempenho agrônomico e produtividade da soja*. Acta Scientiarum Agronomy, v.30, supl. especial, pp.701-709.
- Orta F.J. Federighi M.E. 1996. *El régimen de heladas en el área de V. Mercedes (San Luis) en relación con cultivos estivales extensivos*. Actas VII Congreso Argentino Meteorológico y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico Meteorológico.
- Orta FJ, Rojas E. 2012. *Caracterización y variabilidad de las heladas en Villa Mercedes (San Luis)*. IV Reunión Argentina Agrometeorológica. Mendoza, Argentina.
- Pautasso, J. M. 2021. *Bioestimulantes en el cultivo de soja: ¿Verdad o Mito?* Serie extensión INTA Paraná N°88, pp. 22-27. Ediciones INTA.

- Peña Zubiate, C. A. y d'Hiriart, A. 2000. *Carta de Suelos de la República Argentina*. Hoja Villa Mercedes, Provincia de San Luis. INTA San Luis y Gobierno de la Provincia de San Luis. 196 pp.
- Saenz, C. 2009. *El riego complementario en relación a la agricultura en el este de San Luis*. En: "Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en el este de San Luis". Editores: Quiroga A., Casagrande J. y Colazo J. C. EEA INTA Anguil. pp 39-42.
- Samudio Cardozo, G. R. 2020. *Influencia de bioestimulantes sobre características agronómicas de la soja (Glycine max (L.) Merrill)*. [Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Asunción]. Asunción, Paraguay.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. Ministerio de Economía de la República Argentina. 2024. *Estimaciones Agrícolas*. Disponible en: <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>
- Starobinsky, G.; Monzón, J.; Di Marzo Broggi, E. y Braude, E. 2021. *Bioinsumos para la agricultura que demandan esfuerzos de investigación y desarrollo*. Serie de documentos para el cambio estructural. Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. ISSN 2718-8124.
- Veobides Amador, H.; Guridi Izquierdo, F. y Vázquez Padrón, V. 2018. *Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental*. Cultivos tropicales, vol. 39, núm. 4, pp. 102-109. Ediciones INCA.
- Vieira, E. y Castro, P. 2001. *Ação de stimulate no desenvolvimento inicial de plantas de algodoeiro (Gossypium hirsutum L.)*. Boletín ABRATES. Londrina: Facultad de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidad de São Paulo. Disponible en: <https://repositorio.usp.br/item/001220260>