



Respuesta morfológica y rendimiento de trigo (*triticum aestivum*) a productos bioestimulantes¹

Morphological response and yield of wheat (*triticum aestivum*) to biostimulant products

Resposta morfológica e rendimento de trigo (*triticum aestivum*) a produtos biostimulantes

Sergio Moraga-Bustos

sergiomoraga@unach.cl

Universidad Adventista de Chile

 <https://orcid.org/0009-0007-7491-6141>

Andrés Pinto-Poblete

andrespinto@unach.cl

Universidad Adventista de Chile

 <https://orcid.org/0000-0001-5124-9621>

Matías Betancur

matiasbetancur@unach.cl

Universidad Adventista de Chile

 <https://orcid.org/0000-0003-0762-7175>

Yessica Rivas-Tisnao

yessicarivas@unach.cl

Universidad Adventista de Chile

 <https://orcid.org/0000-0002-1172-9775>

María Jofré-Vásquez

mariajofre@unach.cl

Universidad Adventista de Chile

 <https://orcid.org/0000-0003-4047-5513>

Víctor Cárcamo

victorcarcamo@unach.cl

Universidad Adventista de Chile

 <https://orcid.org/0009-0002-0398-1273>

¹ Documento bajo la licencia: [CC.Reconocimiento-No Comercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Fernando Pinto Morales
fernandopinto@unach.cl

Universidad Adventista de Chile

 <https://orcid.org/0000-0001-6999-2077>

Ignacio Vielma
ignaciovielma@alu.unach.cl

Universidad Adventista de Chile

 <https://orcid.org/0009-0000-3767-2028>

Recibido: 07-09-2023

Aceptado: 20-03-2024

Cómo citar este documento:

Moraga-Bustos, S.; Pinto-Poblete, A.; Betancur, M.; Rivas-Tisnao, Y., Jofré-Vásquez, M., Cárcamo, V.; Pinto M., F. y Vielma, I. (2024). Respuesta morfológica y rendimiento de trigo (*triticum aestivum*) a productos bioestimulantes. *Revista Científica Cuadernos de Investigación*, 2, e27, 1-12. <https://cuadernosdeinvestigacion.unach.cl/index.php/rcci/article/view/e27>

Resumen

La demanda de trigo tiene desafíos a causa de las adversidades climáticas. Los biofertilizantes son una alternativa sostenible para suministrar nutrientes, reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos. Sin embargo, los efectos de los biofertilizantes no son del todo conocidos en el trigo. Este estudio, evaluó el uso de distintos biofertilizantes en un cultivo de trigo en la región de Ñuble. Los tratamientos fueron aplicaciones de tres biofertilizantes: Comcat, Zumsil y Lithovit y un testigo. Se midieron indicadores de rendimiento, como peso hectolitro, plantas por metro lineal, peso de 100 granos y rendimiento total. Así también atributos morfológicos del trigo como altura de planta, diámetro de tallo, largo de espiga y largo de raíz. Los resultados demostraron que el Lithovit aumentó el número de plantas por metro lineal, peso hectolitro y raíces en un 24,12%, 2,97% y 27,63% respecto al control, atribuyendo este aumento al carbonato de calcio de su composición. Comcat y Zumsil aumentaron el largo de espiga en un 8,98% y 2,69% respecto al control. Por lo tanto, los biofertilizantes como Lithovit representan un recurso prometedor para la mejora sostenible de la producción de trigo bajo un marco de cambio climático y seguridad alimentaria.

Palabras clave: Seguridad alimentaria; Producción agrícola; Lithovit; Fertilización; Carbonato de calcio.

Abstract

Demand for wheat is challenged by adverse weather conditions. Biofertilizers are a sustainable alternative to supply nutrients, reducing the need for synthetic fertilizers. However, the effects of biofertilizers are not fully known in wheat. This study evaluated the use of different biofertilizers in a wheat crop in the Ñuble region. The treatments were applications of three biofertilizers: Comcat, Zumsil and Lithovit and a control. Yield indicators were measured, such as hectoliter weight, plants per linear meter, weight of 100 grains and total

yield. As well as morphological attributes of wheat such as plant height, stem diameter, spike length and root length. The results showed that Lithovit increased the number of plants per linear meter, hectoliter weight and roots by 26.41%, 2.89% and 40.87% compared to the control, attributing this increase to the calcium carbonate of its composition. Comcat and Zumsil increased spike length by 8.98% and 2.69% compared to the control. Therefore, biofertilizers such as Lithovit represent a promising resource for the sustainable improvement of wheat production under a framework of climate change and food security.

Key words: Food safety; Agricultural production; Lithovit; Fertilization; Photosynthesis; Calcium carbonate.

Resumo

A demanda por trigo é desafiada por condições climáticas adversas. Os biofertilizantes são uma alternativa sustentável para o fornecimento de nutrientes, reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos. Contudo, os efeitos dos biofertilizantes não são totalmente conhecidos no trigo. Este estudo avaliou o uso de diferentes biofertilizantes em uma cultura de trigo na região de Ñuble. Os tratamentos foram aplicações de três biofertilizantes: Comcat, Zumsil e Lithovit e uma testemunha. Foram medidos indicadores de produtividade, como peso hectolitro, plantas por metro linear, peso de 100 grãos e produtividade total. Bem como atributos morfológicos do trigo como altura da planta, diâmetro do caule, comprimento da espiga e comprimento da raiz. Os resultados mostraram que Lithovit aumentou o número de plantas por metro linear, peso hectolitro e raízes em 26,41%, 2,89% e 40,87% em relação ao controle, atribuindo esse aumento ao carbonato de cálcio de sua composição. A Comcat e a Zumsil aumentaram o comprimento do pico em 8,98% e 2,69% em comparação com o controle. Portanto, biofertilizantes como o Lithovit representam um recurso promissor para a melhoria sustentável da produção de trigo num quadro de alterações climáticas e segurança alimentar.

Palavras chave: Segurança alimentar; Produção agrícola; Lithovit; Fertilização; Fotossíntese; Carbonato de cálcio.

Introducción

La producción global de trigo, un componente vital para garantizar la seguridad alimentaria a nivel mundial ha experimentado un marcado aumento en los últimos años (Khalid *et al.*, 2023). De acuerdo con el primer pronóstico emitido en el año 2023 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se estima que la producción mundial alcance la cifra de 2819 millones de toneladas, lo que refleja un incremento interanual del 1.1%. Aunque esta proyección aún no supera el récord establecido en 2022 (FAO, 2023; Oficina de Estudios y Políticas Agrarias [ODEPA], 2018), esta tendencia subraya la continua importancia de maximizar la producción de trigo para satisfacer la creciente demanda y asegurar la seguridad alimentaria.

No obstante, con el propósito de optimizar la producción de trigo y satisfacer las exigencias demandantes del mercado, resulta imperativo alcanzar un potencial productivo elevado que vaya de la mano con los requisitos nutricionales (Álvarez *et al.*, 2003). En los casos en los que un nutriente se encuentre presente en cantidades inferiores al umbral establecido, surgirá una deficiencia, lo cual conlleva inevitablemente a una disminución en el rendimiento del cultivo (Asei *et al.*, 2022). Por ende, con el fin de garantizar de manera integral la seguridad alimentaria, resulta de suma importancia que la fertilización intervenga mediante el suministro de todos los nutrientes deficitarios en el suelo, aquellos que el cultivo requiere de manera imprescindible.

Por otra parte, los elevados y volátiles costos de los fertilizantes han generado inquietudes significativas acerca de su disponibilidad en los próximos años, lo cual podría acarrear consecuencias adversas para la producción y la seguridad alimentaria. Estas incertidumbres añaden complejidad a las proyecciones relativas al uso de fertilizantes, lo que dificulta de manera considerable su predicción precisa. Además de los ya generalmente altos precios, la disponibilidad misma de fertilizantes en el mercado está disminuyendo debido a la suspensión de la producción en numerosas plantas. Estas instalaciones han cesado sus operaciones debido a márgenes negativos, agravando aún más la situación. Se anticipa que los precios de estos insumos continuarán siendo elevados e incluso podrían experimentar incrementos adicionales, lo que ejercerá una presión suplementaria sobre la inflación en el sector alimentario (FAO, 2022).

La imperante necesidad de perfeccionar la eficiencia en la producción de trigo, con el propósito de abordar el incremento constante de la demanda y salvaguardar la integridad de la seguridad alimentaria, adquiere un carácter innegable en el marco de la contienda contra el cambio climático y la proliferación de la degradación ambiental. Es vital reconocer que este impulso hacia la mejora productiva ha resultado en la aplicación indiscriminada de fertilizantes y en la consecuente contaminación ambiental, fenómenos que reclaman una evaluación meticulosa en aras de mitigar sus efectos colaterales perjudiciales (Bijay-Singh & Craswell, 2021).

No obstante, este aumento en la producción de trigo también ha presentado desafíos sustanciales en términos de sostenibilidad y conservación del medio ambiente. Sumado a esto, en 2020 la pandemia elevó los costos de los fertilizantes, subrayando la importancia de alternativas ecológicas rentables. En este sentido, los fertilizantes naturales no solo reducen la contaminación, sino que, al incorporarlos en programas de fertilización, pueden disminuir gastos. Conjuntamente a lo señalado, debido al contexto social y ambiental, ha aumentado el uso de los fertilizantes ecológicos, a pesar de su mayor costo inicial, se destacan por liberar nutrientes gradualmente, mejorando la productividad y reduciendo los gastos a largo plazo (FAO, 2022; Granados y González, 2022). A su vez, la fertilización convencional, ampliamente adoptada para aumentar los rendimientos, ha sido objeto de cuestionamientos debido a sus efectos perjudiciales en los ecosistemas. El uso excesivo de fertilizantes ha resultado en la contaminación del suelo y el agua, la disminución de la biodiversidad y la liberación de gases de efecto invernadero (De la Fuente y Suárez, 2008; FAO, 2022; Oesterheld, 2008). Esta situación ha motivado a la sociedad a buscar alternativas más respetuosas con el entorno, y en este contexto, la agricultura agroecológica surge como una opción prometedora y sostenible. Esta tendencia destaca la necesidad apremiante de buscar alternativas más eficientes y ecológicas con el objetivo de mejorar la productividad agrícola y mitigar el impacto ambiental (Altieri, 1999; Giuffré, 2006).

En este contexto, los productos bioestimulantes han emergido como una alternativa promisoriosa para optimizar los cultivos de manera sostenible y eficiente. Estas sustancias naturales estimulan los procesos fisiológicos como el diámetro del tallo, altura de planta, largo de la espiga, longitud de la raíz y rendimiento de granos (Aquino y Gómez, 2019; Silva, 2022) generando un aumento de 34,8% en el rendimiento de los granos de trigo evaluados en comparación con una planta testigo fertilizada solo con productos convencionales (Silva, 2022).

La presente investigación se enfoca en la evaluación de diversos bioestimulantes en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* sp.), en su potencial para incrementar la productividad agrícola y con lo que se pueda preservar el equilibrio medioambiental. Considerando los antecedentes presentados, el propósito de este estudio consistió en evaluar la efectividad de los biofertilizantes en el cultivo de trigo, con el fin de enriquecer el entendimiento y promover el desarrollo de técnicas agrícolas más sostenibles. Mediante esta investigación, se buscó contribuir al abordaje de los desafíos presentes y futuros vinculados a la producción de trigo en un escenario caracterizado por el cambio climático y la creciente demanda alimentaria.

Metodología

Ubicación y caracterización edafoclimática del sitio de estudio

El ensayo se realizó en el predio Santa Aurelia, ubicado en el sector de Santa Juana, comuna de San Ignacio, Región de Ñuble, Chile (36° 50' 53" S, 72° 01' 57" O), altitud 227 m.s.n.m. El suelo del sitio de estudio corresponde al orden Andisol (United States Department of Agriculture, 2010), con altos contenidos de MO (>12%). Las condiciones edafoclimáticas del sitio de estudio son de tipo mediterráneo-templado con precipitaciones anuales de 601,7 mm concentradas entre los meses de junio y julio, y temperaturas medias anuales de 12,7 °C (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2020).

Establecimiento del cultivo y diseño experimental

El cultivo fue sembrado el 15 de septiembre de 2020, y la cosecha, 15 de enero de 2021. Se realizó una fertilización base en el mes de octubre de 2020 durante el estado fenológico de macolla, consistente en una mezcla base 9: 41 :12 de base 450 kg/ha. Otorgando al cultivo un total de 40,5 kg/N/ha (Nitrógeno); 184,5 kg/P/ha (Fósforo); y 54 kg/K/ha (Potasio). El diseño utilizado en el ensayo fue en bloque completo al azar, con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos del estudio fueron distintas aplicaciones adicionales de fertilizantes comerciales orgánicos; sus respectivas dosis se describen en la tabla 1. La unidad experimental del estudio consistió en una parcela de 24 m².

Tabla 1. Fertilización utilizada como tratamiento en el experimento.

Tratamiento	Descripción de la fertilización
T0(Control)	Mezcla base (9 - 41 - 12) + 200 kg de Urea en macolla.
T1	Mezcla base (9 - 41 - 12) + 300 gr de ComCat en semilla + 200 kg de Urea en macolla.
T2	Mezcla base (9 - 41- 12) + 330 cc de Zumsil en macolla + 200 kg de Urea en macolla
T3	Mezcla base (9 - 41 - 12) + 300 gr de Lithovit + 200 kg de Urea en macolla.

Fuente: Elaboración propia

La composición química y modo de acción de los productos bioestimulantes aplicados, se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Composición de fertilizantes naturales utilizados en los distintos tratamientos.

Nombre comercial del producto	Composición*	Modo de acción*
ComCat	Substancias bioquímicas activas de plantas <i>Lycbms viscaria</i> . Carbono orgánico oxidable 39,67%.	Estimula la eficiencia mitocondrial, optimizando la oxidación de metabolitos (ciclo de Krebs, beta-oxidación de ácidos grasos) y la síntesis de ATP mediante fosforilación oxidativa. Asimismo, potencia la respiración de la planta al disminuir la energía de activación en las reacciones químicas, y acelera la catalización enzimática en el proceso de biosíntesis.

Zumsil	<p>Óxido de silicio amorfo (SiO₂): 30% Si (OH)₄ 26 ± 2% Na 10 ± 2% Fe 0.01 ± 0.002% C. org 0.81 ± 0.02% Ácidos Húmicos 0.7 ± 0.03%</p>	<p>En los suelos, se incrementa la conductividad eléctrica, lo que conlleva a una mayor capacidad de intercambio catiónico. Esto facilita la incorporación de minerales insolubles y estimula la actividad microbiana, resultando en una mejora notable de la estructura del suelo y, consecuentemente, en una gestión más eficiente del agua.</p>
Lithovit	<p>77.9 % carbonato de calcio 8.7 % carbonato de magnesio 7.4 % silicio 0.2 % óxido de potasio 0.03 % sodio 0.02 % fósforo 7,418 mg/kg hierro 6,347 mg/kg aluminio 278 mg/kg azufre 804 mg/kg estroncio 174 mg/kg bario 172 mg/kg manganeso 10 mg/kg zinc</p>	<p>Las partículas finamente pulverizadas aplicadas sobre las hojas se absorben directamente a través de las estomas y se convierten en dióxido de carbono. Este proceso aumenta significativamente la tasa de fotosíntesis.</p>

*Información descrita por el fabricante en la etiqueta del producto. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros morfológicos y rendimientos de la planta

Para evaluar la altura de las plantas, se seleccionó al azar un conjunto de ejemplares que posteriormente fueron medidos en términos de su altura, excluyendo las raíces, lo que permitió el cálculo del promedio de la altura de cada planta de trigo. Para medir el diámetro del tallo, se utilizó un dendrómetro modelo Small DD-S (Ecomatik, Dachau, Alemania), un dispositivo que proporciona valores precisos del diámetro del tallo mediante sensores. El largo de la espiga fue medido de forma manual utilizando cintas de medición graduadas. El largo de raíces se midió de manera manual mediante reglas graduadas. El rendimiento en trigo se refiere a la cantidad de grano de trigo cosechado por unidad de superficie (kg/ha). Para medirlo, se cosechó y se pesó el grano de una parcela y se dividió entre la superficie de la parcela. El peso de 100 granos es una medida de la densidad y tamaño de los granos de trigo, expresada en gramos. Se tomó una muestra de 100 granos representativos y se pesaron en una balanza analítica modelo HZX-310 (Veto, Santiago, Chile). La densidad de plantas por metro lineal indica cuántas plantas de trigo se encuentran en un metro de fila. Se contaron el número de plantas en una sección de un metro de fila y se multiplicaron por el ancho de la fila. Por último, el peso hectolitro se midió con un analizador de peso hectolitro modelo Wile 200 (Farmcomp Oy, Tuusula, Finlandia).

Análisis estadístico

El efecto de los tratamientos en los parámetros analizados se estimó mediante un ANOVA y la prueba LSD de Fischer, con un nivel de significación estadística de 0,05; para esto se utilizó el software INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2013).

Resultados

Los parámetros morfológicos de la planta se presentan en la Tabla 3, donde la altura de planta fue superior ($p < 0,05$) con el tratamiento T3 respecto al control, no obstante, T1 y T2 no presentaron diferencias

estadísticas significativas entre tratamientos. El diámetro del tallo no se vió afectado por los tratamientos de bioestimulantes ($p > 0,05$), con un diámetro promedio de 4,1 cm. El largo de la espiga aumentó significativamente ($p < 0,05$) con todos los tratamientos bioestimulantes respecto al control el que presentó un valor de 80.9 cm. Por otro lado, el largo de la raíz aumentó significativamente ($p < 0,05$) con los tratamientos T2 y T3 con un promedio de 93,19 cm, respecto a los tratamientos T0 y T1 quienes tuvieron un valor promedio de 67,94 cm.

Tabla 3. Parámetros morfológicos de trigo bajo distintos tratamientos de productos bioestimulantes.

Parámetro	Unidad de medida	Tratamientos				Valor p
		T0	T1	T2	T3	
Altura planta	cm	84,875 ^a	89,0 ^{ab}	90,625 ^{ab}	98,875 ^b	0,0387
Diámetro del tallo	cm	4,0 ^a	4,0 ^a	4,2 ^a	4,3 ^a	0,0981
Largo de espiga	cm	80,875 ^a	88,125 ^b	90,5 ^b	91,25 ^b	0,0422
Largo Raíz	cm	67,625 ^a	68,25 ^a	91,125 ^b	95,25 ^b	0,0125

Medias con una letra diferente en columnas son significativamente diferentes según la prueba de LSD Fischer ($p > 0,05$). T0 (Control): Fertilización base; T1: Fertilización base + ComCat; T2: Fertilización base + Zumsil; T3: Fertilización base + Lithovit. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de rendimiento del trigo bajo diferentes tratamientos de productos bioestimulantes se resumen en la Tabla 4. En relación con el peso del hectolitro, se identificaron diferencias estadísticamente significativas. Notablemente, el tratamiento T3 exhibió un aumento del 2.97% en comparación con el T0. En cuanto al número de plantas por metro lineal, se observaron diferencias significativas en T3 y T2 en comparación con el T0, mostrando incrementos del 24.12% y 11.12%, respectivamente. Además, el tratamiento T3 (Lithovit) presentó una diferencia estadística con el T2, evidenciando un aumento del 12.7%. En relación con el peso de 100 granos y el rendimiento, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, con un valor promedio de 1164 g.

Tabla 4. Parámetros de rendimiento de trigo bajo distintos tratamientos de productos bioestimulantes.

Parámetro	Unidad de medida	Tratamientos				Valor p
		T0	T1	T2	T3	
Peso del hectolitro	kg/hL ⁻¹	77,08 ^a	78,62 ^{ab}	78,9 ^{ab}	80,05 ^b	0,0436
Plantas por metro lineal	n	91,25 ^a	96,25 ^a	102,37 ^b	115,37 ^c	0,0251
Peso de 100 granos	g	5,70 ^a	5,92 ^a	6,14 ^a	6,28 ^a	0,0759
Rendimiento	g	1031 ^a	1082 ^a	1196 ^a	1347 ^a	0,0628

Medias con una letra diferente en columnas son significativamente diferentes según la prueba de LSD Fischer ($p > 0,05$). T0 (Control): Fertilización base; T1: Fertilización base + ComCat; T2: Fertilización base + Zumsil; T3: Fertilización base + Lithovit. Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Parámetros morfológicos

De acuerdo con los resultados de la incorporación de productos bioestimulantes como complemento a la fertilización convencional, se evidencia una influencia sobre las características de crecimiento de las plantas. El tratamiento T3, aumentó significativamente ($p < 0,05$), la altura de las plantas en comparación con el tratamiento control. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas al evaluar el diámetro del tallo. Se observó un incremento significativo en la altura de la planta, largo de la espiga y largo de raíz cuando estas fueron tratadas con T3, lo cual representa un aumento por sobre el tratamiento control de 10.4 %, 14% y 27.6% respectivamente. Según afirma Farouk (2015), el incremento en la altura de planta se debe a que la aplicación de partículas de carbonato de calcio, las cuales junto con las nanopartículas de dióxido de carbono (CO_2) presentes en la composición del Lithovit inducen una respuesta estimulante en la altura de las plantas al interactuar con la superficie foliar y la arquitectura celular. Por lo tanto, el Lithovit actúa como una fuente de CO_2 . Está demostrado que el desarrollo y rendimiento de las plantas se ve favorecido por concentraciones elevadas de CO_2 , en general, incrementando la biomasa y el área foliar de las plantas (Keenan *et al.*, 2023) similar a lo reportado en nuestro estudio. Asimismo, el carbonato de calcio que es el mayor compuesto del Lithovit, actúa como componente esencial en el desarrollo y crecimiento de las paredes celulares, la regulación de la división celular y la participación en una gama diversa de procesos metabólicos vitales en la planta (Pérez *et al.*, 2016). Por lo tanto, se infiere que la ampliación de Lithovit podría estar asociada con un incremento en la tasa de fotosíntesis y una ampliación de la actividad metabólica en general (Farouk, 2015), contribuyendo a mejorar el desarrollo de las plantas. Es relevante destacar que investigaciones precedentes, como la llevada a cabo por Trivedi *et al.* (2017), han demostrado incremento significativo en la altura de la planta del maíz, mayor a 8,7 cm con el uso de bioestimulantes basados en extractos de algas con altas concentraciones de minerales como el calcio, similares a nuestro estudio con Lithovit. En la misma línea, Dalia & Nabeel (2012), observaron un aumento significativo en la altura de la planta de brócoli sometidas a aplicaciones de Lithovit de 95 y 96 cm en la primera y segunda temporada, respectivamente. En contraste, plantas sin Lithovit exhibieron alturas más pequeñas con 85 y 88 cm.

Es importante destacar, que T2 produjo aumento significativo de parámetros morfológicos como largo de espiga y largo de raíz respecto al control. Esto probablemente se debe al elevado contenido de óxido de silicio amorfo (SiO_2) de este producto contenido en un 30%, el cual, debido a su bajo peso molecular, permite una alta asimilación de silicio por parte de la planta. En este sentido, se ha demostrado que el silicio, en órganos como raíces y espiga, fortalece las paredes celulares potenciando su desarrollo (Pérez *et al.*, 2016). Por otro lado, T1 solo presentó un aumento en el largo de la espiga respecto al control, lo cual puede estar ligado a que el ComCat posee en su composición dos biocatalizadores. Al ser aplicado a la planta, cataliza la activación de los mecanismos de defensa naturales en las plantas. De esta forma, se estabilizan los procesos fisiológicos y potencia las funciones de la estructura de la planta debido al incremento de energía (Mandal *et al.*, 2023).

En nuestro estudio, es importante destacar, que los mayores rendimientos morfológicos en la planta generados por Lithovit pueden estar asociado a su mayor número de nutrientes, los cuales pueden mejorar las propiedades fisiológicas directamente al ser absorbidos por la planta o indirectamente por alteración en las características edáficas y microbiológicas del suelo, y, por ende, aumentan el desarrollo de la planta (Farouk, 2015). Contrariamente, el tratamiento T3 se distingue por su asignación amplificada de nutrientes, confiriendo una cualidad más integral. Esta mayor dotación nutricional se presume como el factor determinante en la instauración de diferencias estadísticamente significativas durante la evaluación.

Este fenómeno se alinea con investigaciones previas llevadas a cabo en los campos de estudio relacionados con los pimentones y el triticale, donde la aplicación de productos bioestimulantes que presentaron diversidad de elementos en su composición química demostraron inducir mejoras significativas en diversas métricas de desarrollo y rendimiento como, la altura de las plantas, la cantidad de hojas por planta, el número de frutos por planta y las dimensiones de los frutos (Aquino y Gómez, 2019; Farouk, 2015).

Por lo tanto, este estudio demuestra las posibles ventajas por el uso de bioestimulantes como Lithovit que genera una respuesta fisiológica particular de los cultivos, lo cual genera mejoras en parámetros de crecimiento de la planta de trigo. No obstante, cabe destacar que estas ventajas no son siempre deseadas en zonas con problemas de incidencia abiótica como en el sur de Chile, donde se prefieren variedades más bajas debido a condiciones de altas velocidades de viento que pueden causar tendadura (Matus *et al.*, 2021), por lo tanto, su uso debe ser evaluado según el propósito a alcanzar, por ejemplo, mejorar altura de variedades de estatura baja.

Rendimiento

Respecto a los parámetros de rendimiento, la cuantificación del peso hectolitro reveló un aumento significativo del 2,97% en el tratamiento T3 en comparación con T0. El peso hectolitro se considera un parámetro de calidad del grano, ya que denota la densidad o el peso de los granos por unidad de volumen (Khalid *et al.*, 2023). Este incremento, inducido por el uso de Lithovit, puede derivar de varios factores, entre ellos, la estimulación del llenado de los granos debido al suministro de nutrientes esenciales como el carbonato de calcio, que induce mejoras en el proceso de desarrollo del grano, salud de la planta y la modulación hormonal que regula la formación de los granos (Gao *et al.*, 2023). De manera conjunta, estos componentes contribuyen a un llenado de los granos más eficiente, lo que se traduce en el aumento de la medición del hectolitro (Khalid *et al.*, 2023). Esta investigación respalda los hallazgos obtenidos por De Mattos (2020), quien informó diferencias significativas, con un incremento de 0,28 kg hL⁻¹ por cada 1L de bioestimulante aplicado, fortaleciendo aún más la idea de que los bioestimulantes aportan beneficios significativos en la producción de cultivos.

Esta investigación subraya la presencia de diferencias significativas en el parámetro evaluado de plantas por metro lineal, revelando un incremento del 26.12%. Estos resultados contrastan de manera significativa con los hallazgos de la investigación previamente realizada por Zuaznabar-Zuaznabar *et al.* (2013). En dicho estudio, se llevaron a cabo experimentos utilizando dosis de 3 y 2 L/ha de bioestimulantes, en donde se observó que el número de tallos por metro lineal mantuvo un comportamiento estable en todos los casos, sin mostrar diferencias significativas entre los tratamientos en estudio. La discrepancia en los resultados entre ambas investigaciones resalta la importancia de las variables y condiciones experimentales específicas en la respuesta de las plantas a los bioestimulantes, lo que sugiere la necesidad de un análisis más detenido para comprender mejor los mecanismos subyacentes involucrados en esta respuesta.

En el trabajo de España *et al.* (1985), se documentó un rendimiento en el cultivo de trigo mediante la aplicación de bioestimulantes, con un aumento del 37,2% en comparación con el tratamiento testigo sin bioestimulantes. Siguiendo esta línea de investigación, Silva (2022) llevó a cabo un estudio sobre la respuesta del trigo a la aplicación de un bioestimulantes, observando mejoras sustanciales tanto en el peso del grano como en el rendimiento. Estos hallazgos refuerzan la tendencia positiva asociada a la aplicación de bioestimulantes en el cultivo de trigo. Por otro lado, Aquino y Gómez (2019) evaluaron la influencia de los tratamientos bioestimulantes en el cultivo de Triticale y concluyeron que la combinación de bioestimulantes

y fertilizantes convencionales conducen a un aumento en el rendimiento de granos. Esto se atribuyó a la sinergia que se genera al optimizar los efectos individuales de estos productos en la producción agrícola.

Sin embargo, es relevante destacar que los resultados obtenidos en esta investigación difieren de los informados por Aquino y Gómez (2019), España *et al.* (1985) y Silva (2022). En este estudio en particular, no se observaron mejoras significativas en el rendimiento del trigo al evaluar la aplicación de los bioestimulantes señalados. Cabe mencionar que la investigación realizada por De Mattos (2020) respalda los resultados de nuestro estudio, al demostrar que el uso de bioestimulantes no influyó de manera significativa en el rendimiento del trigo. Y es importante destacar que no se observaron diferencias significativas en las evaluaciones del peso de 100 granos en esta investigación ni en las realizadas por otros investigadores (De Mattos, 2020). A pesar de estos resultados, se observaron mejoras en el desarrollo de las plantas y la calidad del grano, aspectos importantes para la adaptabilidad de la especie y la industria panadera. Por lo tanto, estos hallazgos respaldan la necesidad de una revisión exhaustiva de los bioestimulantes cuyos efectos en las plantas de trigo aún no se comprenden completamente.

Conclusión

Los resultados de este estudio consolidan la relevancia del uso de biofertilizantes para mejorar los parámetros de crecimiento y rendimiento del trigo. Específicamente, el Lithovit, puede ser una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia de la fertilización convencional con lo que se abordan los desafíos presentes y futuros en la producción de trigo. Los hallazgos de esta investigación establecen de forma concluyente que el tratamiento que combina nutrientes, urea y biofertilizantes, en particular el Lithovit, ejerce un impacto significativo en dos aspectos clave: el número de plantas por metro lineal. Por lo tanto, esta investigación promueve la adopción de biofertilizantes en la agricultura, al ofrecer un producto con potencial para la optimización de la calidad del grano, contribuyendo a fortalecer la resiliencia y sostenibilidad de la producción agrícola. Estos resultados respaldan la recomendación del uso del Lithovit para mejorar los atributos morfológicos y de calidad en la producción de trigo y garantizar la seguridad alimentaria.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Financiamiento

Esta investigación ha sido financiada por la Facultad de Ingeniería y Negocios de la Universidad Adventista de Chile.

Referencias

- Altieri, M. A. (1999). *Agroecología. Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*. CETAL. <https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>
- Álvarez, R.; Steinbach, H. S.; Álvarez, C. y Grigera, S. (2003). Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada. *Informaciones Agronómicas*, 18(1417), 1-12. <https://acortar.link/Opa6oi>
- Aquino, V. y Gómez, N. (2019). Triticale (x Triticosecale Wittmack): bioestimulantes orgánicos y fertilización nitrogenada sobre los componentes de rendimiento forrajero en campaña chica-Valle del Mantaro. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 469-477. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.03>

- Asei, R.; Abaidoo, R. C.; Opoku, A. & Adjei-Nsiah, S. (2022). Nutrient Inputs for Rehabilitation of Non-responsive Soils in the Guinea and Sudan Savannah Agroecological Zones of Ghana: Impact on Grain Yield and Soil Quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 796878. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.796878>
- Bijay-Singh & Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: An increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences*, 3(4), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>
- Dalia, N., & Nabeel, A. (2012). Response of two broccoli cultivars to foliar application of Lithovit fertilizer under two planting methods. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 43(6), 27-45. <https://doi.org/10.21608/AJAS.2012.267337>
- De la Fuente, E. y Suárez, S. (2008). *Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura*. *Ecología austral*, 18(3), 239-252. <https://n9.cl/n6sitt>
- De Mattos J. V. (2020). *Efeito de bioestimulante via solo na nutrição e no rendimento de grãos de soja e trigo*. [Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia na Área de Concentração em Uso e Manejo do Solo, para a obtenção do título de Mestre.]. <https://cuts.top/Ahoi>
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzales, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. (2013). InfoStat. Grupo InfoStat, FCA; Universidad Nacional de Córdoba. [Consulta: 20-09-2023]. <http://www.infostat.com.ar>
- España, L.; Escobar, R.; Sañudo, B. y Coral, E. (1985). Respuesta a tres variedades y tres líneas promisorias de trigo a la aplicación de dos bioestimulantes y un fertilizante foliar en dos regiones de nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 9(1-2), 149-165. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1333>
- Farouk, S. (2015). Improving growth and productivity of potato (*solanum tuberosum* l.) by some biostimulants and lithovit with or without boron. *Journaul Plant Production*, 6(12), 2187-2206. <https://doi.org/10.21608/JPP.2015.52463>
- Gao, Y.; Chen, S.; Li, Y. & Shi, Y. (2023). Effect of nano-calcium carbonate on morphology, antioxidant enzyme activity and photosynthetic parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00404-9>
- Giuffré, L. (2006). Impacto global de las actividades agropecuarias. En: Facultad Agronomía (UBA) Editorial. *Agrosistemas: Impacto Ambiental y Sustentabilidad*, (pp. 12-18). Universidad de Buenos Aires.
- Granados, L. C. y González, J. (2022). Situación actual y perspectivas del mercado de fertilizantes en el mundo. *Boletín El Palmicultor*, 605(6), 8-9. <https://cuts.top/AJGw>
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (20 de agosto de 2023). *Agrometeorología*. [Consulta: 20-10-2023]. <https://agrometeorologia.cl/>
- Keenan, T. F.; Luo, X.; Stocker, B. D.; De Kauwe, M. G.; Medlyn, B. E.; Prentice, I. C.; Smith, N. G.; Terrer, C.; Wang, H.; Zhang, Y. & Zhou, S. (2023). A constraint on historic growth in global photosynthesis due to rising CO₂. *Nature Climate Change*, 13(12), 1376-1381. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01867-2>
- Khalid, A.; Hameed, A. & Tahir, M. F. (2023). Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1053196. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1053196>
- Mandal, S.; Anand, U.; López-Bucio, J.; Radha, Kumar, M.; Lal, M. K.; Tiwari, R. K. & Dey, A. (2023). Biostimulants and environmental stress mitigation in crops: A novel and emerging approach for agricultural sustainability under climate change. *Environmental Research*, 233, 116357. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116357>

- Martínez, D. (2011). Efecto de cuatro bioestimulantes en el crecimiento y productividad del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) *Varietal cacique en la zona de Chaltura, provincia de Imbabura* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <https://n9.cl/27uvie>
- Matus, I.; Madariaga, R.; Jobet, C.; Zuñiga, J. y Alfaro, C. (2021). Lasaña-Inia: nueva variedad de trigo harinero de primavera para la zona centro sur y sur de Chile. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 37(2), 151-159. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS37-17LNIC50017>
- Oesterheld, M. (2008). Impact of agriculture on ecosystems: Ecological basis and most relevant problems in Argentina. *Ecología Austral*, 18(3), 337-346. <https://cuts.top/AdWj>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2018). Boletín de cereales julio 2018. [Consulta: 25-09-2023]. <https://cuts.top/C08f>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023). *Situación Alimentaria Mundial, Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales*. [Consulta: 20-09-2023]. <https://acortar.link/2dFyc7>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022). *El mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades*. [Consulta: 20-09-2023]. <https://www.fao.org/3/ni280es/ni280es.pdf>
- Pérez, O.; Hernández, F.; Azañón, V.; Martínez, C. y Duarte, y. R. (2016). *Respuesta de la caña de azúcar al silicio en dos suelos de la zona cañera de Guatemala*. IPNI Canadá, 26–30. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2016/03/26.pdf>
- Silva, C. (2022). *Evaluación de la respuesta a un biofertilizante experimental en cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) a campo* [Trabajo Final de Aplicación, Universidad Nacional de Luján]. <https://goo.su/uQLitoK>
- Trivedi, K.; Anand, G.; Kubavat, D.; Kumar, R.; Vaghela, P. & Ghosh, A. (2017). Crop stage selection is vital to elicit optimal response of maize to seaweed bio-stimulant application. *Journal of Applied Phycology*, 29, 2135-2144. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-017-1118-2>
- United States Department of Agriculture (2010). Keys to Soil Taxonomy. En: United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (Ed.). *USDA-Natural Resources Conservation Service*, (pp. 117-137). <https://cuts.top/C3MV>
- Zuaznabar-Zuaznabar, R.; Pantaleón-Paulino, G.; Milanés-Ramos, N.; Gómez-Juárez, I. y Herrera-Solano, A. (2013). Evaluación del bioestimulante del crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar FITOMAS-E en el estado de Veracruz, México. *ICIDCA*, 47(2), 8-12. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223128548002.pdf>