

Respuestas fisiológicas y productivas de plantas de remolacha tratadas con una solución de aminoácidos

Physiological and productive responses of beet plants treated with amino acid solution

Kolima Peña Calzada^{1*}; Alexander Calero Hurtado^{1,2}; Victoria Peistrup³
Isabel Mühlmann³; Danieya Rodríguez Miranda¹⁰; Liuder I. Rodríguez¹⁰
Manuel Rodríguez González¹⁰; Juan C. Rodríguez Fernández¹⁰

Recibido para publicación: 02 de febrero de 2024 - Aceptado para publicación: 17 de junio de 2024

RESUMEN

El crecimiento exponencial de la población mundial hace necesario buscar alternativas para incrementar la producción de alimentos. Los aminoácidos se utilizan ampliamente para mejorar la productividad de los cultivos, sin embargo, en el cultivo de la remolacha roja no está generalizado su uso. Por lo que el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de una solución de aminoácidos en los índices fisiológicos y la producción de la remolacha roja. Se diseñó un experimento en bloques al azar con cinco tratamientos y seis réplicas. Fueron evaluadas cuatro concentraciones de la solución de aminoácidos VA1 (0,3 ml L⁻¹), VA2 (0,6 ml L⁻¹), VA3 (0,9 ml L⁻¹), VA4 (1,2 ml L⁻¹) y un tratamiento control VA0 (0). Se evaluó la biomasa seca de las plantas, área foliar, tasas de crecimiento, contenido de clorofilas totales, temperatura de las hojas, contenido relativo de agua y el rendimiento agrícola. Los resultados mostraron menor crecimiento y producción cuando no se usó la solución de aminoácidos y un incremento significativo de la biomasa seca de las plantas cuando se usó la solución en todas sus variantes. Las tasas de crecimiento, el contenido de clorofilas, así como la temperatura de las hojas, también fueron beneficiadas por los aminoácidos. La mayor eficiencia productiva se obtuvo con 0,6; 0,9 y 1,2 ml L⁻¹ y la mejor respuesta en el rendimiento fue de la dosis 1,2 ml L⁻¹. Por lo que la aplicación foliar de aminoácidos es una alternativa para incrementar el crecimiento y la producción de remolacha roja.

Palabras clave: *Beta vulgaris* L., hortalizas, tasas de crecimiento, VIUSID agro®.

¹Universidad de Sancti Spiritus José Martí Pérez. Sancti Spiritus, Cuba

²Universidad Federal de Mato Grosso. Cuiabá/MT, Brasil.

³Universidad del Desarrollo Sostenible de Eberswalde (HNEE). Eberswalde, Alemania.

*Autor para correspondencia: Kolima Peña Calzada

Email: kolimapena@gmail.com

ABSTRACT

The exponential growth of the world population makes it necessary to look for alternatives to increase food production. Amino acids are widely used to improve crop productivity, however, in table beet cultivation they are not widespread. Therefore, the objective of the research was to evaluate the effect of foliar application of an amino acid solution on the physiological indices and production of red beet. A randomized block experiment was designed with five treatments and six replications. Four concentrations of the amino acid solution VA1 (0.3 ml L⁻¹), VA2 (0.6 ml L⁻¹), VA3 (0.9 ml L⁻¹), VA4 (1.2 ml L⁻¹) were evaluated. 1) and a control treatment VA0 (0). The dry biomass of the plants, leaf area, growth rates, total chlorophyll content, leaf temperature, relative water content and agricultural yield were evaluated. The results showed lower growth and production when the amino acid solution was not used and a significant increase in the dry biomass of the plants when the solution was used in all its variants. Growth rates, chlorophyll content, as well as leaf temperature, were also benefited by amino acids. The highest productive efficiency was obtained with 0.6; 0.9- and 1.2-ml L⁻¹ and the best performance response was at the 1.2 ml L⁻¹ dose. Therefore, the foliar application of amino acids is an alternative to increase the growth and production of red beets.

Key words: *Beta vulgaris* L., vegetables, growth rates, VIUSID agro®.

Cómo citar

Peña Calzada, K., Calero Hurtado, A., Peistrup, V., Mühlmann, I., Rodríguez Miranda, D., Rodríguez, L. I., Rodríguez González, M. y Rodríguez Fernández, J. C. 2024. Respuestas fisiológicas y productivas de plantas de remolacha tratadas con una solución de aminoácidos. *Temas Agrarios* 29(1): 113-125. <https://doi.org/10.21897/pkxmyw03>



Temas Agrarios 2024. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

Temas Agrarios. Enero-Junio 2024; Vol. 29. No. 1 pp. 113-125 | ISSN 2389-9182 | <https://doi.org/10.21897/pkxmyw03>

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria global depende de la producción de alimentos, lo que hace necesario el incremento de los rendimientos agrícolas para estabilizar la producción y la demanda. Esta necesidad es más urgente en los últimos años debido al aumento de la población mundial (Majeed y Muhammad, 2019), que según las Naciones Unidas, se expandirá de 7500 millones en la actualidad, a más de 9700 millones en 2050. En este contexto la agricultura moderna debe ser cada vez más eficiente y producir más alimentos de una manera ecológica y sostenible (Rouphael y Colla, 2018).

Además se prevé que el aumento de la temperatura, la desigual distribución de las lluvias y la salinización de los suelos agrícolas, incidan en la disponibilidad de los alimentos para humanos y el ganado (Olivera-Viciedo *et al.*, 2021). Ante esta problemática es importante disponer de opciones ecológicas que aseguren la estabilidad de las producciones. Una tecnología innovadora que aborda estos importantes desafíos involucra el desarrollo de nuevos bioestimulantes y los métodos efectivos para su aplicación (Lakhdar *et al.*, 2023).

Como estimuladores naturales del crecimiento de las plantas, los aminoácidos se utilizan ampliamente para promover la disponibilidad de nutrientes, mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos por lo que puede ser una solución a tener en cuenta (Khan *et al.*, 2019).

Sin embargo, actualmente no solamente se utilizan para incrementar los rendimientos, también son destinados a mitigar los efectos negativos causados por el estrés abiótico, regular el metabolismo antioxidante y como precursores de hormonas (Rouphael y Colla, 2018). Además, aplicados individualmente

o combinados aumentan la acumulación de masa seca en las plantas, el contenido de clorofila, disminuyen la temperatura de las hojas, favorecen la fotosíntesis, la transpiración, la conductancia estomática y la producción aun en condiciones desfavorables para su crecimiento (Kheir *et al.*, 2021; Peña-Calzada *et al.*, 2022).

Recientemente se ha demostrado el impacto positivo de la aplicación foliar de mezclas de aminoácidos en las plantas. En lechuga (*Lactuca sativa* L.) se benefició la producción de masa seca y la producción final y en mango (*Mangifera indica* L.) mejoró la cantidad y calidad de los frutos (Kheir *et al.*, 2021; Lucini *et al.*, 2015). Por otra parte en maíz (*Zea mays* L.) mejoró el crecimiento de las plantas y la producción final en más de un 30 % (Peña *et al.*, 2021).

En remolacha las investigaciones de aplicaciones exógenas de aminoácidos, han estado dedicadas fundamentalmente a la remolacha azucarera (*Beta vulgaris vulgaris* var. *altissima*) (Khoshkharam *et al.*, 2021) no así a la remolacha roja (*Beta vulgaris* L.) o de consumo que son escasas. Por lo antes expuesto fueron presentadas las siguientes hipótesis: i) la aplicación foliar de aminoácidos beneficia la acumulación de masa seca, tasas de crecimiento, así como el contenido de clorofilas totales, temperatura de las hojas y contenido relativo de agua. ii) la capacidad de aumentar las variables evaluadas será mayor en la medida que aumenten las dosis. Para comprobarlas el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de una solución de aminoácidos en los índices de crecimiento, cantidad de clorofilas, temperatura de las hojas, contenido relativo de agua y producción de la remolacha roja.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el área experimental de la Universidad de Sancti Spiritus José Martí (Organopónico UNISS) 51

m. s. n. m. en condiciones semicontroladas. La variedad utilizada fue Detroit Dark Red con semilla certificada de la empresa de semillas de Sancti Spíritus, con un porcentaje de germinación de 97 % y pureza del 99 %. La siembra fue manual con una distancia entre líneas de 0,10 m y entre plantas de 0,15 m.

A los 10 días posteriores a la emergencia se realizó un raleo uniforme para homogenizar el número de plantas. El riego fue por aspersión con una frecuencia diaria. Las variables climáticas fueron registradas diariamente Figura 1.

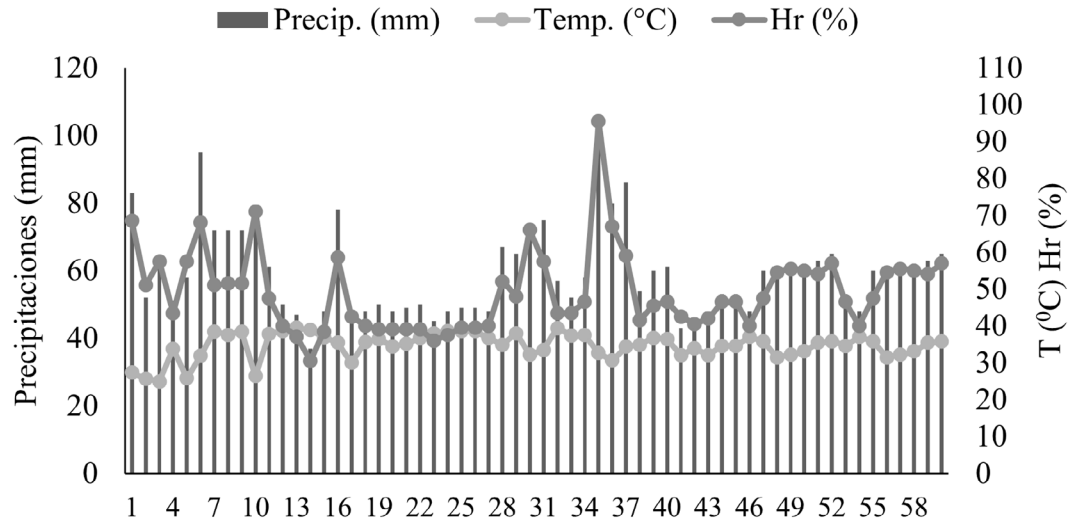


Figura 1. Variables climáticas, Temperatura (T), Precipitaciones y Humedad relativa (Hr), durante la fase experimental.

El diseño experimental fue bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro réplicas. Las parcelas tenían 5 m² y la superficie de cálculo fue de 2,40 m². Se marcaron y evaluaron al azar 15 plantas por parcela para un total de 60 plantas por tratamiento. El producto comercial VIUSID agro® (VA) fue utilizado como fuente de aminoácidos. Los aminoácidos presentes en la solución fueron, Ácido aspártico (1,6 %), Arginina (2,4 %), Glicina (2,5 %) y el Triptófano (0,5 %). El pH de la solución fue ajustado para 5,7 ± 0,2, con solución de HCl o NaOH, ambas a 1,0 mol L⁻¹.

Fueron evaluadas cuatro concentraciones VA1(0,3 ml L⁻¹), VA2(0,6 ml L⁻¹), VA3(0,9 ml L⁻¹), VA4(1,2 ml L⁻¹) y un tratamiento sin aplicación de la solución VA0(0). Las aplicaciones se realizaron en horas de la mañana con la humedad relativa superior al

60 %. El intervalo fue de siete días desde la emisión de las primeras hojas verdaderas hasta una semana antes de la cosecha y se usó un aspersor manual de espalda (ECHO MS-21H) de 8 litros de capacidad, calibrado.

Las evaluaciones se hicieron a los 40 y 60 días después de la siembra (dds) la última coincidió con la cosecha. En ambos momentos fue determinada la masa seca de los órganos, las plantas fueron lavadas para retirar los residuos con una solución de detergente al 0,2 %, solución de ácido clorhídrico 0,1 % y agua destilada (EMBRAPA, 2018). Además plantas fueron divididas en raíces y parte aérea, posteriormente colocadas en sacos de papel y conducidos a la estufa de ventilación forzada a la temperatura de 65 °C hasta masa constante.

Para determinar la biomasa seca por tratamiento se utilizó una balanza electrónica Sartorius (modelo BS 124S) con precisión de $\pm 0,01$ g y para el cálculo del área foliar se usó el método dimensional descrito a continuación.

$$(1) AF = l \times a \times f$$

$$(2) F = Ah (l \times a)^{-1}$$

$$(3) Ah = (Ar \times Mcl) Mrc$$

Donde (AF) es el área foliar, (l) es el largo de la hoja, (a) es el ancho de la hoja y (f) es el factor de acuerdo con el cultivo. Para calcular el factor (f) Ah es el área de la hoja y para el área del limbo (Ar) es el área del rectángulo de papel, (Mcl) es la masa del contorno del limbo y (Mrc) masa del rectángulo de papel.

Para el diámetro ecuatorial y polar de la raíz se usó un calibrador Vernier (pie de rey) y se registró el valor de todas las plantas seleccionada. Se tuvo en cuenta colocar el instrumento en la zona más ensanchada de la raíz de forma homogénea en todas las muestras.

Para determinar la potencia de la fuente y de la demanda se tuvo en cuenta el método de (Wilson, 1981) adaptado a la especie.

$$(4) PF = (AF) \times TAN$$

$$(5) PD = MSr \times TCRr$$

Donde (PF) Potencia de la fuente, tamaño de la fuente es el área foliar (AF) y Actividad de la fuente es la tasa de asimilación neta (TAN). Potencia de la demanda (PD), (MSr) tamaño de la demanda (masa seca de la raíz reservante) y actividad de la demanda (TRCr) tasa relativa de crecimiento de la raíz reservante.

Para calcular los índices de crecimiento se

usó la metodología descrita por (Gardner *et al.*, 2003). Para determinar el contenido de clorofila y la temperatura en las hojas se utilizó un (TYS-B Chlorophyll Meter), las lecturas fueron realizadas en un día despejado sin nubes (12:00 pm) en la tercera hoja del ápice a la base, siempre en la misma orientación y en tres puntos en forma triangular (Peña-Calzada *et al.*, 2022). El contenido relativo de agua (CRA) se determinó mediante el método descrito por (Barrs & Weatherley, 1962). Los resultados se expresaron como porcentaje, según la siguiente fórmula (CRA).

$$(6) CRA = (MF-MS) / (MT-MS) \times 100 \quad (\%)$$

En la cosecha se tuvo en cuenta que todos los tratamientos estuvieran dentro del rango establecido, diámetro ecuatorial de la raíz entre 4-6 cm. Para el cálculo del rendimiento se usó el método indirecto, teniendo en cuenta la masa fresca de las plantas seleccionadas, por unidad de área.

Estadística

Se determinó la normalidad de los datos a través de la prueba Kolmogorov Smirnov y para la homogeneidad de la varianza, se realizó la Dócima de Levene. Por presentar distribución normal y homogeneidad de la varianza se le realizó Anova de un factor y Tukey, además de un análisis de regresión para el rendimiento. Los datos fueron procesados en el software R (R Core Team, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa seca parte aérea (Wpa), biomasa seca raíz (Wr), área foliar (AF) y diámetro ecuatorial de la raíz (Der).

En la biomasa seca de la parte aérea Wpa a los 40 dds, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, a los 60 dds esta variable fue superior significativamente con todas las dosis

de aminoácidos (VA) en relación al control VA0 (Figura 2A). Sin embargo, en la biomasa seca de la raíz (Wr) la mejor respuesta fue de los tratamientos con aminoácidos VA. Los aumentos en relación a VA0 a los 40 dds

fueron de 62 % VA1, 59 % VA2, 47 % VA3 y 72 % VA4 y en cosecha a los 60 dds de 56 % VA1 55 % VA2 55 % y VA3 74 % VA4 respectivamente (Figura 2B).

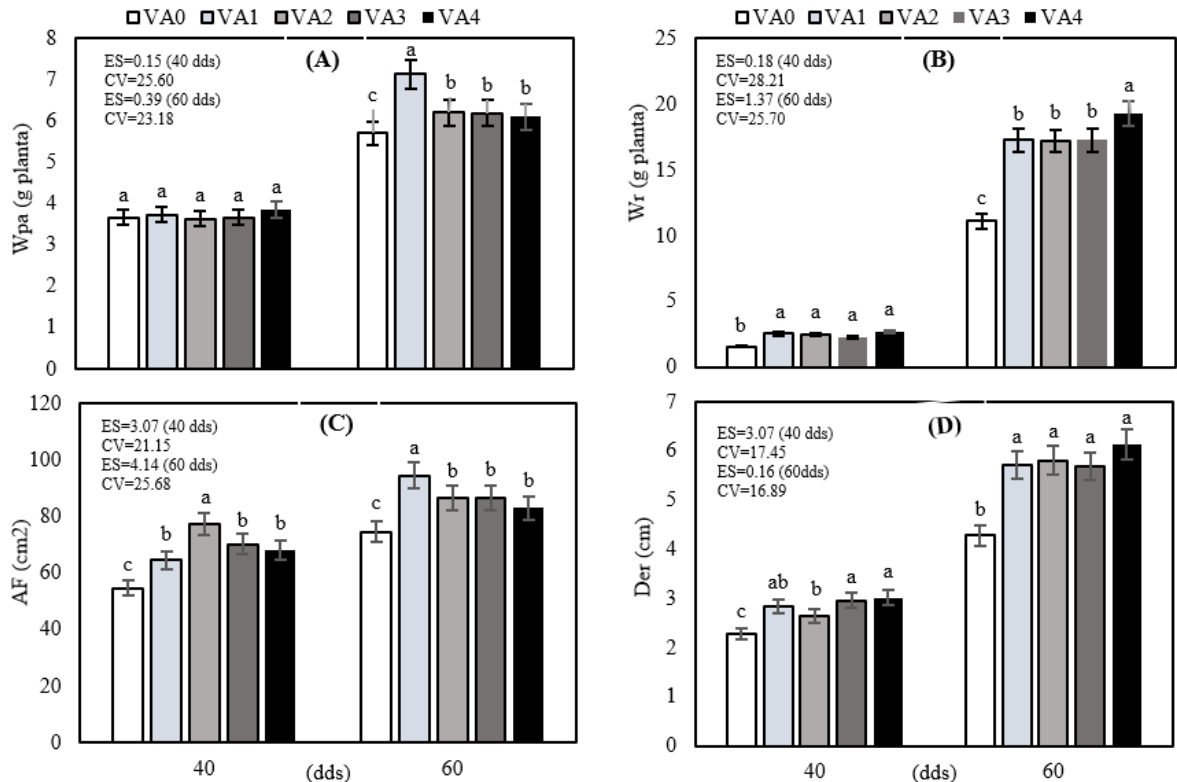


Figura 2. La Wpa (A), Wr (B), AF (C) y el Der (D) en plantas de remolacha cultivadas en ausencia (VA0) y en presencia de cuatro dosis de la solución de aminoácido (VA1, VA2, VA3, VA4) a los 40 y 60 (dds). Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos a los 40 dds y 60 dds, sin compararse entre los dos momentos y de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$).

Por otra parte, los mayores valores de área foliar (AF) fueron alcanzados con los tratamientos con VA con diferencias significativas en relación al tratamiento control. La mejor respuesta fue con el tratamiento VA2 a los 40 dds y VA1 60 dds. Los aumentos en relación al control de estas dos concentraciones, fueron de 42 % VA2 y 27 % VA1. El diámetro ecuatorial de la raíz, también fue favorecido con la aplicación foliar de VA con diferencias significativamente de VA0 a los 40 y 60 dds.

Estos resultados se deben a la acción combinada de los aminoácidos que actúan en

el crecimiento de las raíces y pueden provocar el aumento del acúmulo y distribución de la masa seca, mayor crecimiento en las plantas (Wu *et al.*, 2023). Por otra parte, es difícil atribuir los efectos en el crecimiento de las raíces a un solo aminoácido, sin embargo, la presencia de triptófano puede beneficiar el crecimiento de las raíces (Ugolini *et al.*, 2023). Además varios autores aseguran que la aplicación de aminoácidos beneficia el crecimiento de las plantas cuando se presentan condiciones adversas de sequía por lo que le atribuyen efectos protectores (Gil-Ortiz *et al.*, 2023), además mejoran el crecimiento en edades tempranas para un mejor vigor de

las plántulas esto sucede porque la actividad de las enzimas del metabolismo del almidón tiende a ser mayor (Queiroz *et al.*, 2023).

En hortalizas de hojas como la *Brassica rapa* L. subsp. *chinensis* los aminoácidos beneficiaron el crecimiento, el área foliar y número de hojas, así como la distribución y acúmulo de masa seca. Los autores aseguran que la aplicación foliar de la combinación de aminoácidos en dosis bajas, puede además aumentar el rendimiento final del cultivo. Sin embargo los mecanismos por los cuales esto sucede aún no están completamente descritos (Peña-Calzada *et al.*, 2019).

Potencia de la fuente (PF) y potencia de la demanda (PD).

A los 40 dds la PF (hojas) fue beneficiada con la aplicación foliar de la solución de aminoácidos. La mejor respuesta se alcanzó

con los tratamientos VA1, VA2, VA4 mientras que VA3 no difirió del tratamiento control ni del resto de las variantes. La PD (raíz) fue menor en valores que la potencia de la fuente. Los mayores beneficios fueron alcanzados por los tratamientos con aminoácidos y los incrementos en relación al control fueron de VA1 67 % VA2 60 %, VA3 53 % y VA4 73 % (Figura 4A).

La aplicación de aminoácidos proporcionó incrementos de la PF y PD, a los 60 dds en relación al tratamiento control. Los mejores resultados en la PF se alcanzaron con VA1 61 % mayor que el control y VA4 en PD con incrementos del 74 % en relación al tratamiento sin aminoácidos, aunque el resto de los tratamientos difirieron significativamente de VA0 en ambas variables que tienen como característica una relación inversamente proporcional entre sí (Figura 4B).

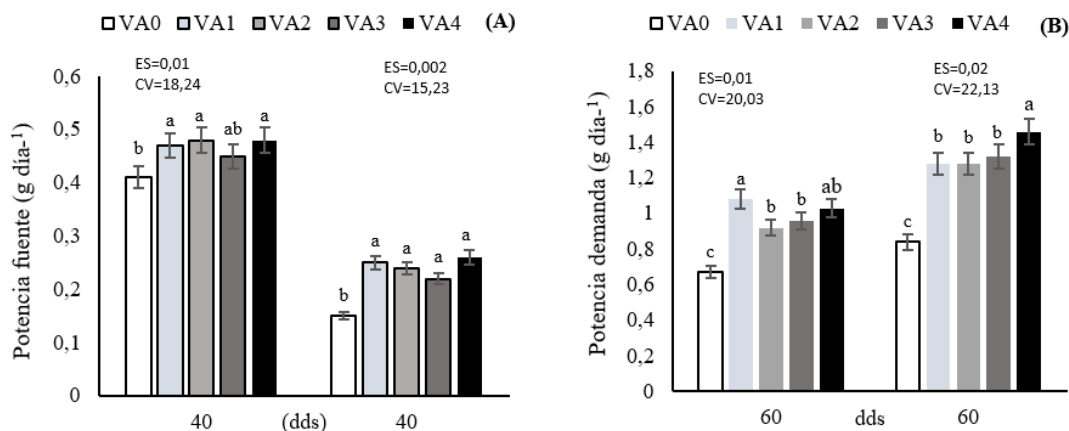


Figura 3. La PF (A) y PD (B) a los 40 y 60 dds, en plantas de remolacha cultivadas en ausencia (VA0) y en presencia de cuatro dosis de la solución de aminoácido (VA1, VA2, VA3, VA4). Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos a los 40 y 60 dds sin compararse entre los dos momentos y de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$).

Aunque aún falta mucho por descifrar en cuanto el efecto de los aminoácidos en los procesos metabólicos de las plantas, se ha observado que el uso de estos productos mejora significativamente el rendimiento de

los cultivos, ya que tienen efectos beneficiosos en los procesos fisiológicos de las plantas, como la absorción de agua y nutrientes, entre otros (Mutale-Joan *et al.*, 2020). Además otros autores han encontrado que tienen efectos

positivos en el movimiento de los asimilados desde la fuente (hojas) hacia la demanda (tallos y raíces reservantes) (Peña *et al.*, 2018).

La cosecha depende en gran medida de la velocidad de movimiento de los asimilados del órgano productor al órgano de reserva. La aplicación foliar de aminoácidos está demostrada que influye de esta forma en el adelanto de la maduración y el momento de cosecha de algunos cultivos, además de mejorar la calidad del producto comercial (Hölzel *et al.*, 2023).

Tasa activa de crecimiento (TAC), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de asimilación neta (TAN), razón de área foliar (RAF)

Las tasas de crecimiento fueron influenciadas por la aplicación foliar de la solución de aminoácidos tanto a los 40 como a los 60 dds. A los 40 dds en la TAC no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, a los 60 dds hubo incrementos significativos de la variable en relación al control de 57 % VA1, 48 % VA2, 50 % VA3, 62 % VA4 (Figura 4A). Esto significó que los tratamientos con aminoácidos alcanzaron un mayor incremento de masa seca por unidad de tiempo que el control.

La TCR alcanzó resultados favorables con la solución de aminoácidos a los 60 dds con diferencias significativas en relación al tratamiento sin aminoácidos y con incrementos de un 13 % VA1, 11 % VA2, 13 % VA3, 12 % VA4 respectivamente (Figura 4B). Por lo que las plantas de remolacha tratadas tuvieron una mayor eficiencia para producir materia seca nueva, en un tiempo determinado. Esta tasa es considerada como un índice de eficiencia en la producción de masa seca en las plantas.

Los mayores valores de la TAN fueron alcanzados con la aplicación de la solución de aminoácidos a los 60 dds con diferencias significativas en relación al control e incrementos de 27 % VA1, 18 % VA2, 22 % VA3, 38 % VA4 (Figura 4C). Estos resultados, permiten afirmar que las plantas tratadas con aminoácidos tuvieron una mayor eficiencia fotosintética promedio, ya que todos los tratamientos superaron significativamente al control a los 60 dds.

En la RAF a los 40 dds los mejores resultados fueron alcanzados con los tratamientos VA2, VA3, VA4. En la última evaluación la mejor respuesta fue de la dosis VA 4 ya necesitó un área (cm²) menor que el control en un 8,76 % para producir una unidad de masa seca. A diferencia del resto de los índices de crecimiento la planta es más eficiente mientras menor sea el valor de RAF (Figura 4D).

Estos resultados están relacionados con la aplicación de aminoácidos, otros autores encontraron que cuando se aplican combinados se consiguen respuestas positivas relacionadas con las tasas de crecimiento. Además, sostienen que se produce mayor cantidad de masa seca por unidad de área con dosis bajas de la solución (Peña *et al.*, 2018).

Índice de eficiencia foliar IEF e índice de área foliar IAF, clorofilas totales CT, temperatura de las hojas TH, contenido relativo de agua CRA e índice de cosecha IK.

El IEF alcanzó la mejor respuesta con la dosis VA4, con diferencias significativas del resto de los tratamientos y superó al control en un 53 %. El resto de las variantes con el producto también difirieron significativamente del control y lo superaron en un 20 y 33 % respectivamente. Esto significó que la eficiencia de las hojas de la planta para producir masa seca útil o comercial fue superior cuando se usó la solución de aminoácidos (Tabla 1).

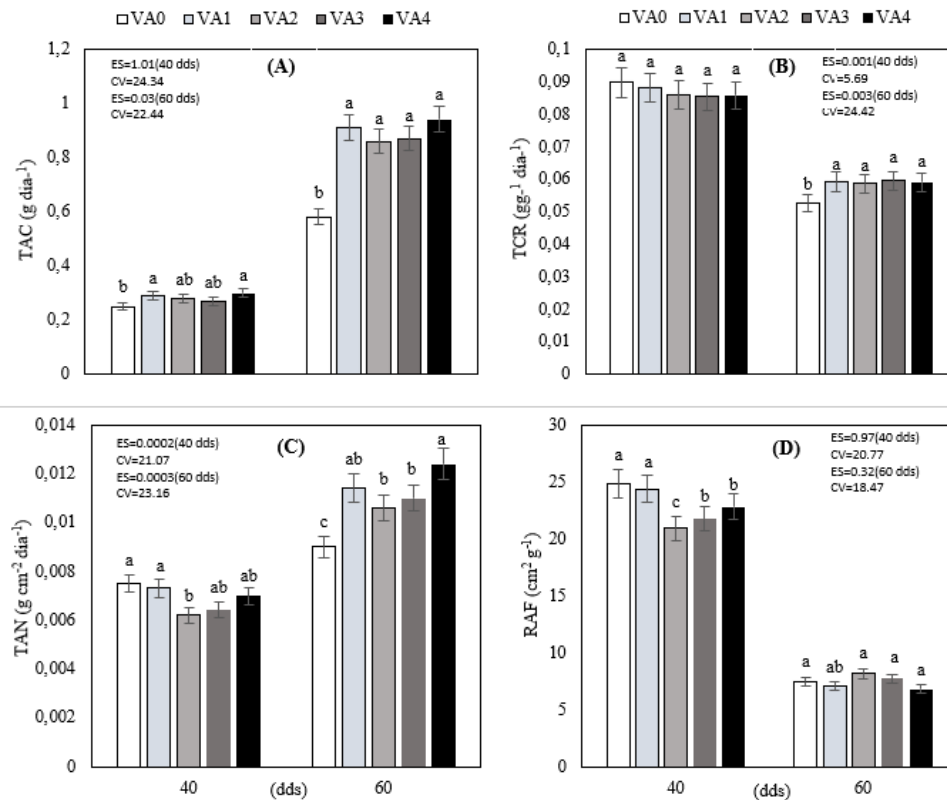


Figura 4. La TAC (A), TCR (B), TAN (C), RAF (D) en plantas de remolacha cultivadas en ausencia (VA0) y en presencia de cuatro dosis de la solución de aminoácido (VA1, VA2, VA3, VA4) a los 40 y 60 (dds). Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos a los 40 y 60 dds, sin compararse entre los dos momentos y de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$).

Similar respuesta fue encontrada en el IAF (Tabla 1), el tratamiento VA4 superó significativamente al control en un 26 %. Entre tanto en los valores de clorofila todos los tratamientos con aminoácidos tuvieron una mejor respuesta cuando fueron comparados con el control. Los aumentos de los tratados en relación al tratamiento con ausencia de aminoácidos fueron de 28 % VA1, 36 % VA2, 36 % VA3 y 44 % VA4.

Por otra parte, las plantas tratadas con aminoácidos alcanzaron menores TH con diferencias significativas en relación al control. La mejor respuesta se alcanzó con las dosis VA2 con 1, 02 oC menos que el tratamiento con ausencia de aminoácidos, VA3 1,0 0C y V4 1,13 oC respectivamente. En el CRA de las hojas, los tratamientos con aminoácidos superaron significativamente al control en un 8 % VA2, 10 % VA3, 10 % VA4.

El IK expresa la eficiencia productiva de la planta. Se observa que la mejor respuesta fue de la dosis VA4 con diferencias estadísticas en relación al control, pero sin diferir de los resultados alcanzados con las dosis VA2 y VA3. El incremento de la variante más favorable en relación al no tratado fue del 15 %. Esto significó que la producción útil o comercial por unidad de producto biológico total fue mayor cuando se usó la solución de aminoácidos (Tabla 1).

El IEF es la relación que existente entre la masa seca comercial y el área foliar. La aplicación foliar de aminoácidos independientes o combinados beneficia la acumulación de masa seca en los órganos de las plantas y también favorecen el área foliar de los cultivos. Diferentes investigadores asocian este resultado al efecto positivo de los aminoácidos en la fotosíntesis y en la disminución de la temperatura de las hojas (Furbank *et al.*, 2019; Peña-Calzada *et al.*, 2022).

Tabla 1. Índice de crecimiento, clorofila, temperatura de las hojas, contenido relativo de agua a los 60 dds, en plantas de remolacha cultivadas en ausencia (VA0) y en presencia de cuatro dosis de la solución de aminoácido.

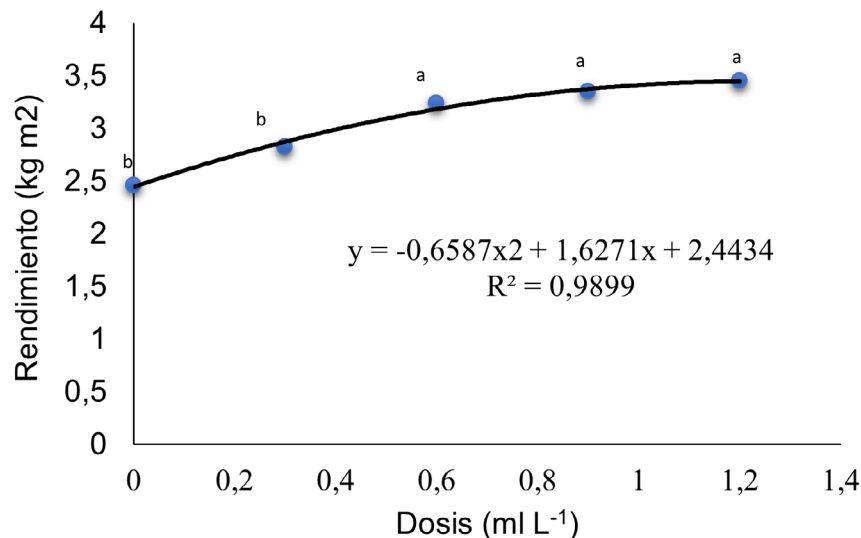
T	IEF	IAF	Clorofila (mg cm ⁻²)	TH	CRA	IK
VA0	0,1512 c	1,3726 c	25 c	(oC)	(%)	0,6677 c
VA1	0,1835 b	1,5168 b	32 b	35,03 b	74,770 b	0,7188 b
VA2	0,2102 b	1,5800 b	34 b	34,99 ab	79,198 ab	0,7348 ab
VA3	0,2113 b	1,633 ab	34 b	34,01 a	81,454 a	0,7458 ab
VA4	0,2301 a	1,7256 a	36 a	34,03 a	82,397 a	0,7647 a
ES (F)	1,02	0,01	0,90	33,90 a	82,456 a	0,02
CV (%)	22,11	10,03	10,11	3,06	4,35	12,86

Letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$).

Rendimiento agrícola

El rendimiento fue superior cuando se usó la solución de aminoácidos, el resultado más favorable se alcanzó con la dosis VA4 con incrementos en relación al no tratado de 1,49 kg m². El resto de los tratamientos también difirieron significativamente del control. Las dosis VA2 y VA3 no difirieron entre sí, pero lograron un incremento en relación al control de 0,78 y 0,89 kgm²⁻¹ lo que significó un

aumento promedio de la producción de un 34 %. El incremento alcanzado con la dosis VA1 en relación al no tratado con la solución de aminoácidos fue más discreto, pero estadísticamente significativo y ascendió a 15 % (Figura 5). Se estableció una relación polinómica entre el rendimiento y los tratamientos, con un coeficiente de determinación cercano a uno por lo que la relación es muy fuerte entre ambas variables.

**Figura 5.** Relación polinomial entre el rendimiento y los tratamientos.

Si bien la aplicación de aminoácidos es una práctica recurrente en la agricultura mundial, la mayor parte de las investigaciones se ha

llevado a cabo para cultivos hortícolas como el tomate y hortalizas de hoja (Alfosea-Simón *et al.*, 2021). Sin embargo, los hallazgos de la

investigación demuestran el papel positivo de estos, en la remolacha y reafirman que pueden influenciar el crecimiento y la producción de hortalizas de raíz. Resultados similares se obtuvieron en otros cultivos donde se alcanzaron mayores valores de área foliar y rendimiento final con aminoácidos (Matysiak *et al.*, 2020). Además estos elementos benefician los mecanismos de defensa ante condiciones adversas y mejoran la capacidad de producción en comparación con el control (Nowak *et al.*, 2023).

Por otra parte, el rendimiento está relacionado con la distribución de la masa seca del órgano de producción, al órgano de reserva y está demostrado que la aplicación foliar de aminoácidos beneficia este movimiento (Biosci *et al.*, 2019; Peña *et al.*, 2018).

Según los resultados la aplicación de aminoácidos benefició el rendimiento del cultivo en más de un 30 %. Esto se debe a que los aminoácidos beneficiaron la respuesta general de la planta pues se alcanzaron aumentos en el área foliar, masa seca de la raíz y la parte aérea y también un aumento del diámetro del órgano de reserva (figura 2 ABCD). Otros cultivos tratados con soluciones de aminoácidos tuvieron resultados similares en estas variables (Biosci *et al.*, 2019; Peña *et al.*, 2018; Peña *et al.*, 2021).

Por otra parte, aunque no se encontraron investigaciones con aminoácidos en remolacha roja se encontró que la aplicación foliar de aminoácidos benefició el crecimiento y la producción de la zanahoria. Además, fueron reportados otros beneficios como aumentos de la cantidad de azúcares y sólidos solubles totales (*Daucus carota* L.) (Rosa *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de aminoácidos resulta beneficiosa para favorecer la acumulación de masa seca, las tasas de crecimiento, el contenido de clorofilas totales, la temperatura de las hojas, el contenido relativo de agua en las plantas y la producción. Además, se ha demostrado que su capacidad para mejorar la respuesta de estas variables es mayor

a medida que se incrementa la cantidad aplicada. La dosis óptima para lograr la mejor respuesta de las plantas es 1,2 ml L⁻¹. Estos hallazgos sugieren que esta práctica puede ser incorporada efectivamente en la estrategia de manejo del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto Semillas de Amistad de la Universidad del Desarrollo Sostenible de Eberswalde HNEE, Alemania, al proyecto institucional: Universidad, agricultura urbana y comunidades rurales: un enfoque interdisciplinario para promover la soberanía alimentaria y la igualdad de género (AgroFuturo), código: NA223SS500-035, a la Coordinación de perfeccionamiento de personal de nivel superior (CAPES) proceso: 88887.975003/2024-00. Además a la maestría en Ciencias Agrícolas de la Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez y a la empresa Catalysis (España-Madrid) por la donación del producto VIUSID agro®.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Financiación

Esta investigación fue financiada por la Universidad de Sancti Spíritus José Martí Pérez, Cuba.

REFERENCIAS

Alfosea-Simón, M., Simón-Grao, S., Zavala-Gonzalez, E. A., Cámara-Zapata, J. M., Simón, I., Martínez-Nicolás, J. J., Lidón, V. y García-Sánchez, F. 2021. Physiological, Nutritional and Metabolomic Responses of Tomato Plants After the Foliar Application of Amino Acids Aspartic Acid, Glutamic Acid and Alanine. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.581234>

- Barrs, H. y Weatherley, P. 1962.** A Re-Examination of the Relative Turgidity Technique for Estimating Water Deficits in Leaves. *Australian Journal of Biological Sciences* 15(3):413. <https://doi.org/10.1071/bi9620413>
- Biosci, I. J., Ullah, A., Ali, S., Ali, N., Shah, S. M., Amin, F., Ullah, A., Khan, S., Ullah, Z. y Biosci, I. J. 2019.** Influence of foliar application of bio-stimulants on growth, yield and chemical composition of tomato. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 14(01):309-316. <https://doi.org/10.12692/ijb/14.1.309-316>
- EMBRAPA. 2018.** Limpeza de Areia para Experimentos em Nutrição de Plantas. 232, 1-5.
- Furbank, R. T., Jimenez-Berni, J. A., George-Jaeggli, B., Potgieter, A. B. y Deery, D. M. 2019.** Field crop phenomics: enabling breeding for radiation use efficiency and biomass in cereal crops. In *New Phytologist* 223(4):1714-1727. <https://doi.org/10.1111/nph.15817>
- Gil-Ortiz, R., Naranjo, M. Á., Atares, S. y Vicente, O. 2023.** Antioxidant Responses of Water-Stressed Cherry Tomato Plants to Natural Biostimulants. *Agronomy* 13(9): 8-10. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092314>
- Hölzel, N., Close, D. C., Bound, S. A., Quin, P. R., Visentin, D. C. y Swarts, N. D. 2023.** Uptake and Translocation of Foliar-Applied L-Proline in Sweet Cherry (*Prunus avium* L.). *Agronomy* 13(4):1-11. <https://doi.org/10.3390/agronomy13040958>
- Khan, S., Yu, H., Li, Q., Gao, Y., Sallam, B. N., Wang, H., Liu, P. y Jiang, W. 2019** Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy* 9(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy9050266>
- Kheir, A. M. S., Ding, Z., Gawish, M. S., El Ghit, H. M. A., Hashim, T. A., Ali, E. F., Eissa, M. A., Zhou, Z., Al-harbi, M. S. y El-gioushy, S. F. 2021.** The exogenous application of micro-nutrient elements and amino acids improved the yield, nutritional status and quality of mango in arid regions. *Plants* 10(10). <https://doi.org/10.3390/plants10102057>
- Khoshkharam, M., Shahrajabian, M. H. y Esfandiary, M. 2021.** The effects of methanol and amino acid glycine betaine on qualitative characteristics and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. *Notulae Scientia Biologicae* 13(2):1-13. <https://doi.org/10.15835/nsb13210949>
- Lakhdar, A., Trigui, M. y Montemurro, F. 2023.** An Overview of Biostimulants' Effects in Saline Soils. *Agronomy* 13(8): 1-26. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082092>
- Lucini, L., Roupheal, Y., Cardarelli, M., Canaguier, R., Kumar, P. y Colla, G. 2015.** The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae* 182:124-133. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.022>
- Majeed, A. y Muhammad, Z. 2019.** Salinity: A major agricultural problem-causes, impacts on crop productivity and management strategies. In *Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches* 83-99. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_3
- Matysiak, K., Kierzek, R., Siatkowski, I., Kowalska, J., Krawczyk, R. y Miziniak, W. 2020.** Effect of exogenous application of amino acids L-arginine and glycine on maize under temperature stress. *Agronomy* 10(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy10060769>

- Mutale-Joan, C., Redouane, B., Najib, E., Yassine, K., Lyamlouli, K., Laila, S., Zeroual, Y. y Hicham, E. A. 2020.** Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum lycopersicum* L. Scientific Reports 10(1):1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59840-4>
- Nowak, R., Szczepanek, M., Błaszczyk, K., Kobus-Cisowska, J., Przybylska-Balcerek, A., Stuper-Szablewska, K., Pobereżny, J., Hassanpouraghdam, M. B. y Rasouli, F. 2023.** Impact of the Farming System and Amino-Acid Biostimulants on the Content of Carotenoids, Fatty Acids, and Polyphenols in Alternative and Common Barley Genotypes. Agronomy 13(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy13071852>
- Olivera-Viciedo, D., de Mello Prado, R., Martinez, C. A., Habermann, E., Branco, R. B. F., de Cássia Piccolo, M., Calero Hurtado, A., Peña Calzada, K. y Lata Tenesaca, L. F. 2021.** Water stress and warming impact nutrient use efficiency of Mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) in tropical conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 207(1): 128-138. <https://doi.org/10.1111/jac.12452>
- Peña-Calzada, K., Olivera-Viciedo, D., Calero, A., Rodríguez, J. C., Kukurtcu B., Placencia Y. M. Á. y Castro A. S. 2019.** Productive Response of Brassica rapa L. subsp. chinensis to Application of VIUSID Agro. Journal of Agricultural Science and Technology B 9(2):103-109. <https://doi.org/10.17265/2161-6264/2019.02.003>
- Peña-Calzada, K., Olivera-Viciedo, D., Habermann, E., Calero Hurtado, A., Lupino Gratão, P., De Mello Prado, R., Lata-Tenesaca, L. F., Martinez, C. A., Ajila Celi, G. E. y Rodríguez, J. C. 2022.** Exogenous Application of Amino Acids Mitigates the Deleterious Effects of Salt Stress on Soybean Plants. Agronomy 12(9):2014. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092014>
- Peña, K., Calero-hurtado, A., Olivera-, D., Rodríguez, J. C., Fernandes, T. y Ajila, G. 2021.** Technical note / Nota Técnica Respuesta agroproductiva de. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 38(3):573–584.
- Peña, K., Rodríguez, J. C., Viciedo, D. O., Hurtado, A. C., Félix, J. y García, R. 2018.** Efecto de dosis de VIUSID Agro ® en el comportamiento morfo-fisiológico y productivo del rábano (Rev. Fac. Agron. (LUZ) 35(2):293–317.
- Queiroz, R. B., Bessa, L. A., Ávila, R. G., Augusto, D. S. S., Oliveira, M. S. y Vitorino, L. C. 2023.** Effect of Exogenous Tryptophan on Primary Metabolism and Oxidative Stress and Their Relationship with Seedling Germination and Vigor of Glycine Max L. Agronomy 13(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy13061609>
- Rosa, R., Hajko, L., Franczuk, J., Zaniewicz-Bajkowska, A., Andrejiová, A. y Mezeyová, I. 2023.** Effect of L-Tryptophan and L-Glutamic Acid on Carrot Yield and Its Quality. Agronomy, 13(2):1–23. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020562>
- Rouphael, Y. y Colla, G. 2018.** Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science 871: 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655>

R Core Team. 2019. “R: A language and environment for statistical computing, 2015.” (p. 4). <http://www.r-project.org/>

Ugolini, L., Malaguti, L., Matteo, R., Pagnotta, E., Beleggia, R. y Righetti, L. 2023. Protein Hydrolysates from *Crambe abyssinica* Seed Cake as Potential Biostimulants for Root Development. *Agronomy* 13(11):1–19. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112755>

Wu, J., Chen, S., Ruan, Y. y Gao, W. 2023. Combinatorial Effects of Glycine and Inorganic Nitrogen on Root Growth and Nitrogen Nutrition in Maize (*Zea mays* L.). *Sustainability* (Switzerland) 15(19) <https://doi.org/10.3390/su151914122>