



RESPUESTA FISIOLÓGICA DE ESTEVIA (*Stevia rebaudiana*) CON FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ORGÁNICA

PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF STEVIA (*Stevia rebaudiana*) WITH CHEMICAL AND ORGANIC FERTILIZATION

Ma. Claudia Castañeda-Saucedo¹, Cinthia Monserrat Jiménez-Negrete², Ernesto Tapia-Campos^{3*},
Jessica del Pilar Ramírez-Anaya¹, J. Jesús Iniestra-González² y Liliana Carolina Córdoba-Albores¹

¹Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Sur, Ciudad Guzmán, Jalisco, México. ²Instituto Tecnológico Mario Molina Pasquel y Henríquez, Tamazula, Jalisco, México. ³Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Guadalajara, Jalisco, México.

*Autor de correspondencia (etapia@ciatej.mx)

RESUMEN

La estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) es un endulzante no calórico natural, es más dulce que el azúcar de caña de 15 a 30 o de 200 a 300 veces en hoja y extracto, respectivamente. El objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento y desarrollo de estevia con fertilización química y orgánica. Se estableció un experimento bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con siete tratamientos y el testigo: T1 (humus 400 g/planta), T2 (gallinaza 300 g/planta), T3 químico (180N-60P-92K), T4 (humus + gallinaza), T5 (humus + químico), T6 (gallinaza + químico), T7 (humus + gallinaza + químico) y el testigo (sin fertilizar). Se realizaron cuatro muestreos, a los 35, 57, 79 y 99 días después del trasplante (ddt), en cada muestro se evaluó la longitud de raíz (LR), altura de planta (AP), área foliar (AF), peso seco de raíces (PSr), tallos (PSt), hojas (PSh) y total (PSTo); además, se calculó la tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de asimilación neta (TAN), relación de área foliar (RAF), relación de peso foliar (RPF), área foliar específica (AFE) y coeficiente de partición de biomasa (CPB) de raíz, tallo y hojas. Los resultados muestran que el tratamiento con aplicación de humus produjo la mayor AP (95.1 cm) y LR (33.5 cm) a los 99 y 79 ddt. Los tratamientos humus y gallinaza mostraron el mayor PSr (13.13 y 11.47 g), respectivamente, a los 99 ddt. El mejor tratamiento fue 400 g humus/planta + químico (180N-60P-92K), ya que se obtuvo la mayor AF (4118.7 cm²), PSt (38.4 g) y PSh (44.9 g) a los 99 ddt. En PSTo a los 99 ddt todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales pero superiores al testigo. No hubo diferencias en TRC y TAN a los 99 ddt. Como conclusión, la fertilización con fuentes individuales de humus y gallinaza generan buenos resultados y éstos se incrementan si se mezclan con fertilización química.

Palabras clave: *Stevia rebaudiana*, crecimiento, desarrollo, fertilización.

SUMMARY

Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) is a natural non-caloric sweetener, it is 15-30 or 200-300 times sweeter than cane sugar in leaf and extract, respectively. The objective of the present study was to evaluate the growth and development of stevia with chemical and organic fertilization. An experiment was established under a randomized complete block experimental design with seven treatments and the control: T1 (humus 400 g/plant), T2 (chicken manure 300 g/plant), T3 chemical (180N-60P-92K), T4 (humus + chicken manure), T5 (humus + chemical), T6 (chicken manure + chemical), T7 (humus + chicken manure + chemical) and the control (unfertilized). Four samplings were carried out at 35, 57, 79 and 99 days after transplantation (dat), in each sample the root length (RL), plant height (PH), leaf area (LA), dry weight of roots (RDW), stems (SDW), leaves (LDW) and total (TDW); were evaluated

in addition, the relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR), leaf area ratio (LAR), leaf weight ratio (LWR), specific leaf area (SLA) and biomass partition coefficient (BPC) of root, stem and leaves were calculated. Results show that the treatment with humus application produced the highest PH (95.1 cm) and RL (33.5 cm) at 99 and 79 dat. The humus and chicken manure treatments showed the highest RDW (13.13 and 11.47 g), respectively, at 99 dat. The best treatment was 400 g humus/plant + chemical (180N-60P-92K), as the highest LA (4118.7 cm²), SDW (38.4 g) and LDW (44.9 g) were obtained at 99 dat. In TDW at 99 dat all treatments were statistically equal but higher than the control. There were no differences in RGR and NAR at 99 dat. As a conclusion, fertilization with individual sources of humus and chicken manure generates good results and these are increased if mixed with chemical fertilization.

Index words: *Stevia rebaudiana*, development, fertilization, growth.

INTRODUCCIÓN

La estevia o stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) es un edulcorante no calórico llamada hierba dulce, hoja dulce, hoja miel u hoja caramelo (Joseph y George, 2019), se utiliza como endulzante natural, pues es de 15 a 30 veces y de 200 a 300 más dulce en hojas y extracto que el azúcar de caña (Villagrán *et al.*, 2015) y 400 veces más que la sacarosa (Rivera-Avilé *et al.*, 2021), está aumentando su renombre fuera de la Unión Europea, después de haberse probado la ausencia de toxicidad y que es segura para el consumo humano (Villagrán *et al.*, 2015), por lo que se visualiza como un sustituto de la sacarosa (Villalba *et al.*, 2018); también, contiene principios activos como esteviósidos y rebaudiósidos, responsables del sabor dulce de la planta (Joseph y George, 2019); la concentración de esteviósidos y rebaudiósidos en la hoja seca es de 6-10, o hasta 14 %, respectivamente, la estevia es rica en hierro, magnesio y cobalto (Villagrán *et al.*, 2015), también contiene varios compuestos químicos con potencial benéfico para la salud humana como polifenoles, clorofilas y carotenoides, los cuales pueden ser extraídos para alimentos funcionales y nutraceuticos (Escutia-López *et al.*, 2019). No contiene cafeína, grasas saturadas, colesterol o carbohidratos (Villagrán *et al.*, 2015).

El aceite esencial de hojas de estevia contiene 33 componentes, entre los principales están el óxido de cariofileno (24.28 %), el espatulenol (12.31 %), el nerolidol (11.8 %) y el óxido de manool (7.36 %) (Lremizi *et al.*, 2023). Por los compuestos mencionados previamente, tiene alto potencial antioxidante, por lo que tiene aplicaciones terapéuticas como antidiabético, antibacterial, anticancerígeno (Joseph y George, 2019), hipotensoras, antihipertensivas (Iatridis *et al.*, 2022), antiinflamatorias (Escutia-López *et al.*, 2019), contrarresta la fatiga, facilita la digestión y las funciones gastrointestinales, nutre al hígado, páncreas y bazo (Villagrán *et al.*, 2015). La estevia se considera como un cultivo innovador y rentable, se estima que el mercado de estevia será de \$ 1140 millones USD en 2028; debido a su aceptación en la industria de alimentos y bebidas (Rivera-Avilez *et al.*, 2021), la estevia está destinada a sustituir el mercado de edulcorantes sintéticos tales como el aspartame, las sacarinas y los ciclamatos, productos que cada vez son más cuestionados, pues presentan efectos tóxicos, e incluso cancerígenos, para los usuarios (Ramírez, 2011). Dada la importancia a nivel mundial de los problemas de salud pública, la estevia se visualiza como una alternativa para un mejor nivel de vida de la población. En México, la estevia ha sido aceptada debido a los diferentes usos que se le pueda dar y por ser un edulcorante alternativo que ayuda a disminuir problemas de salud pública (Avendaño *et al.*, 2012).

La planta de estevia es originaria de Sudamérica, de clima semiárido de las laderas montañosas de Paraguay (Iatridis *et al.*, 2022), es una planta herbácea que se adapta fácilmente a regiones tropicales y subtropicales, se desarrolla en altitudes desde el nivel del mar hasta los 1200 msnm (Ramírez, 2011). En los últimos años la superficie sembrada ha aumentado considerablemente como alternativa ante el consumo de sacarosa (Villalba *et al.*, 2018); sin embargo, la producción de estevia se ve afectada por varios factores como disponibilidad de humedad en el suelo (Mahajan y Pal, 2022), radiación solar (Jarma-Orozco *et al.*, 2020), duración de la noche (Rivera-Avilez *et al.*, 2021) y minerales (Benhmimou *et al.*, 2018; Mahajan y Pal, 2022; Verma *et al.*, 2020). Los requerimientos de fertilizantes para estevia son moderados y varían de acuerdo al ambiente y tipo de suelo (Benhmimou *et al.*, 2018); sin embargo, una inadecuada fertilización puede generar bajos rendimientos de hoja, por lo que, los análisis de suelos y planes de fertilización deben establecerse y evaluarse para ajustar las dosis de nutrientes a través de los años (Ramírez, 2011). Al respecto, Verma *et al.* (2020) reportaron que un nivel de nutrientes de 300N-180P-160K kg ha⁻¹ se ha considerado como un nivel óptimo para la estevia; de igual manera, Benhmimou *et al.* (2018), con aplicaciones de 300N-100P-240K kg ha⁻¹ encontraron el mayor rendimiento de biomasa

fresca, hoja fresca y seca y total de glucósidos de esteviol (96.53, 69.87, 19.56 y 2.13 g/planta, respectivamente); además, Barroso *et al.* (2018) reportaron que aplicaciones de nitrógeno promueve una alta actividad antioxidante debido a la composición fenólica; también se sabe que el uso de abonos orgánicos es una buena alternativa porque contienen macro (carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio) y micronutrientes (zinc, cobre, hierro, manganeso y sodio) (Ochoa *et al.*, 2023), además de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo mejora la aireación y retención de agua, y al mismo tiempo incrementa la concentración de glucósidos, mejora la actividad de la raíz e incrementa la tasa fotosintética y la biomasa total (Villalba *et al.*, 2018). México tiene potencial de cultivo en condición óptima de 3,157,651 ha, y en Jalisco se reportan 252,650 ha, se entiende por óptimo clima trópico y subtropical, 18-30 °C, 1000-1400 mm de precipitación, de 0-50 msnm, 20-50 cm de profundidad de suelo, drenaje bueno, textura franca, suelos luvisoles, nitosoles, regosoles y fluvisoles, pH de 5.5 a 7.0 (Ramírez-Jaramillo y Lozano-Contreras, 2016). A pesar de que en el Sur de Jalisco existen las condiciones edafoclimáticas adecuadas para el crecimiento del cultivo, no existe información sobre el manejo de la fertilización en estevia en la zona Sur de Jalisco, por lo que se probó la fórmula de fertilización recomendada por Ramírez (2011) (180N-60P-92K) + fertilización orgánica; esta dosis es menor que la 300N-180P-160K, recomendados por Verma *et al.* (2020) y la 300-100-240, recomendada por Benhmimou *et al.* (2018), con la finalidad de encontrar una fórmula de fertilización que reduzca la cantidad de productos químicos y tener una producción más sustentable; por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento y desarrollo de estevia con fertilización química y orgánica con la finalidad de detectar el mejor tratamiento para la zona Sur de Jalisco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del experimento

El experimento se realizó en un invernadero y laboratorio de Fisiología vegetal del Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara, México. Se establecieron 144 plántulas de estevia variedad Morita II (origen Japonés) de dos meses de edad en bolsas de plástico con 8 kg de tierra y peat moss (BM2) en proporción 4:1.

Tratamientos y diseño experimental

Se establecieron ocho tratamientos: 1) testigo, sin fertilización; 2) humus de lombriz 400 g/planta, se distribuyeron en dos aplicaciones iguales a los 15 y 45 días después del trasplante (ddt); 3) gallinaza aplicando 300 g/planta, los cuales se distribuyeron en tres aplicaciones iguales a los 15, 45

y 75 ddt; 4) químico (180N-60P-92K), distribuida en tres partes iguales a los 15, 45 y 74 ddt; 5) humus (400 g/planta) + gallinaza (300 g/planta), 6) humus (400 g/planta) + químico (180N-60P-92K), 7) gallinaza (300 g/planta) + químico (180N-60P-92K) y 8) humus (400 g/planta) + gallinaza (300 g/planta) + químico (180N-60P-92K). El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en un grupo de seis plantas. Los tratamientos 5, 6, 7 y 8 se aplicaron en las mismas fechas que los primeros cuatro tratamientos, dependiendo de la fuente de fertilización usada en cada tratamiento. La fórmula de fertilización química 180N-60P-92K fue la recomendada por Ramírez (2011). El humus utilizado tenía un pH de 6.5 a 7, N 1-1.5 %, P 3 %, K 0.5 a 1 %, Ca 4.5 %, Mg 0.6%, S 0.01 %, Fe 5890 ppm, Mn 347 ppm, B 35 ppm y Zn 105 ppm.

Manejo agronómico

Se aplicó el acaricida Mitac 20 (Amitraz), fungicida Captan 50 y el surfactante Kinetic en dosis de 1 mL, 2.2 g y 1.25 y 0.25 mL L⁻¹ de agua, a los 28, 35 y 42 días después del trasplante (ddt); también, se hicieron dos aplicaciones a los 70 y 77 ddt con extracto de ajo y tween 20 a dosis de 1 g y 1.25 mL L⁻¹ de agua. El suelo se mantuvo húmedo durante todo el ciclo de producción. Las macetas se regaron cada tercer día.

Variables medidas

Se realizaron cuatro muestreos a los 35, 57, 79 y 99 ddt. Las variables evaluadas fueron longitud de raíz (LR, cm) con una regla, altura de planta (AP, cm) desde la superficie del suelo hasta la punta de la planta, área foliar (AF, cm²) se calculó con el software ImageJ; peso seco total de planta (PSTo, g) y peso seco de raíz (PSr, g), de tallo (PSt, g), de hoja (PSh, g); para secar el material vegetal se usó un horno de secado (Binder® serie FD, Tuttlingen, Alemania) a una temperatura de 60 °C por 72 h. También se calcularon los índices tasa de crecimiento relativo (TCR; g g⁻¹ d⁻¹/planta) calculada de acuerdo con Rivera-Avilez *et al.* (2021) y Grisafi y Tombesi (2023) y tasa de asimilación neta (TAN; g cm⁻² d⁻¹/planta) calculada de acuerdo con Díaz-López *et al.* (2020). La relación de área foliar (RAF; cm² g⁻¹ d⁻¹/planta) se calculó como la relación entre el área foliar total y el peso seco total de la planta; la relación de peso foliar (RPF; g g⁻¹) se determinó como el cociente del peso seco del área foliar y el peso seco de la planta; el área foliar específica (AFE; cm² g⁻¹ d⁻¹/planta) se refiere al área foliar por unidad de peso foliar; además, se calcularon los coeficientes de partición de biomasa de hoja (CPBh), raíz (CPBr), tallo (CPBt) mediante las siguientes fórmulas:

$$CPBh = (PSh/PSTo) \times 100$$

$$CPBr = (PSr/PSTo) \times 100$$

$$CPBt = (PSt/PSTo) \times 100$$

Estos índices indican la proporción expresada en porcentaje de cada órgano con respecto al total de la planta.

Diseño y análisis de datos

Para el análisis de datos se realizó análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico Statics Analysis System versión 9.1.3 para Windows (SAS Institute, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de crecimiento

Altura de planta (AP)

Al inicio del crecimiento no se detectaron diferencias significativas; sin embargo, conforme fueron creciendo las plantas, se fueron presentando diferencias entre tratamientos de manera paulatina, de tal manera que a los 99 ddt el tratamiento con aplicaciones de humus mostró la mayor AP (95.1 cm, Figura 1), lo que refleja que se trata de un fertilizante muy completo, ya que el humus contiene N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn; además, contiene ácidos húmicos, los cuales juegan un papel importante en el balance de la nutrición de la planta y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Mohammed *et al.*, 2019). A diferencia del presente estudio, Villalba *et al.* (2018) no encontraron diferencias significativas en altura de planta de estevia (37-45 cm) a los 73 ddt utilizando humus en cantidades de 549-2198 y gallinaza de 176-706 g/maceta. En otra investigación realizada por Youssef *et al.* (2021) encontraron valores más altos en AP 59.5 y 64.5 cm a los 145 (2018) y 138 (2019) ddt (año), con la fertilización orgánica + biofertilizantes, valores que son más bajos que los encontrados en este estudio.

Longitud de raíz (LR)

En LR, al igual que en AP, no se encontraron diferencias significativas al inicio del crecimiento de la planta, pero conforme fue creciendo el cultivo se detectaron diferencias entre tratamientos, de manera que, a los 73 ddt el tratamiento con humus mostró la mayor LR (33.5 cm) y a los 99 ddt el tratamiento químico mostró la mayor LR. Es importante mencionar que el tratamiento de gallinaza + químico no favoreció el crecimiento de

la raíz, lo mismo sucedió con el humus al combinarse con gallinaza o fertilización química, el cual mostró una menor LR (Figura 1).

Área foliar (AF)

El AF se vio favorecida con aplicaciones de fertilización química u orgánica; así, a los los 35 ddt, el tratamiento con aplicación de gallinaza tuvo la mayor AF (306 cm²). A los 57 ddt el AF en tratamientos con alguna fertilización fue de 1075 a 1816 cm² y solo el testigo, con 327 cm², fue estadísticamente inferior. A los 79 ddt los tratamientos humus + gallinaza y gallinaza + químico tuvieron los valores más altos, 3655 y 3674 cm², respectivamente. A los 99 ddt el tratamiento humus + químico mostró el mayor valor de AF con 4118.7 cm²; es importante mencionar que el testigo obtuvo los valores más bajos en AF y en el último muestro

tuvo 566.5 cm² (Figura 1). Lo anterior coincide con los resultados de Villalba *et al.* (2018), quienes mencionan que lombricultura o humus genera mejores condiciones para el crecimiento de estevia y se obtienen mayores brotes y peso de hojas que con gallinaza. Por otro lado, Youssef *et al.* (2021) reportaron mejores resultados con fertilización orgánica, con valores de 1335.3 y 1696.5 cm² a los 145 ddt en 2018 y a los 138 ddt en 2019, valores mucho más bajos que los encontrados en este estudio; una mayor AF es favorable porque la hoja es el principal órgano que se utiliza para la extracción de estevósido y rebaudiósido.

Peso seco de tallo (PSt)

En las primeras etapas del crecimiento de la planta no se observaron diferencias muy claras en PSt entre los tratamientos evaluados; sin embargo, a los 57 y 77 ddt

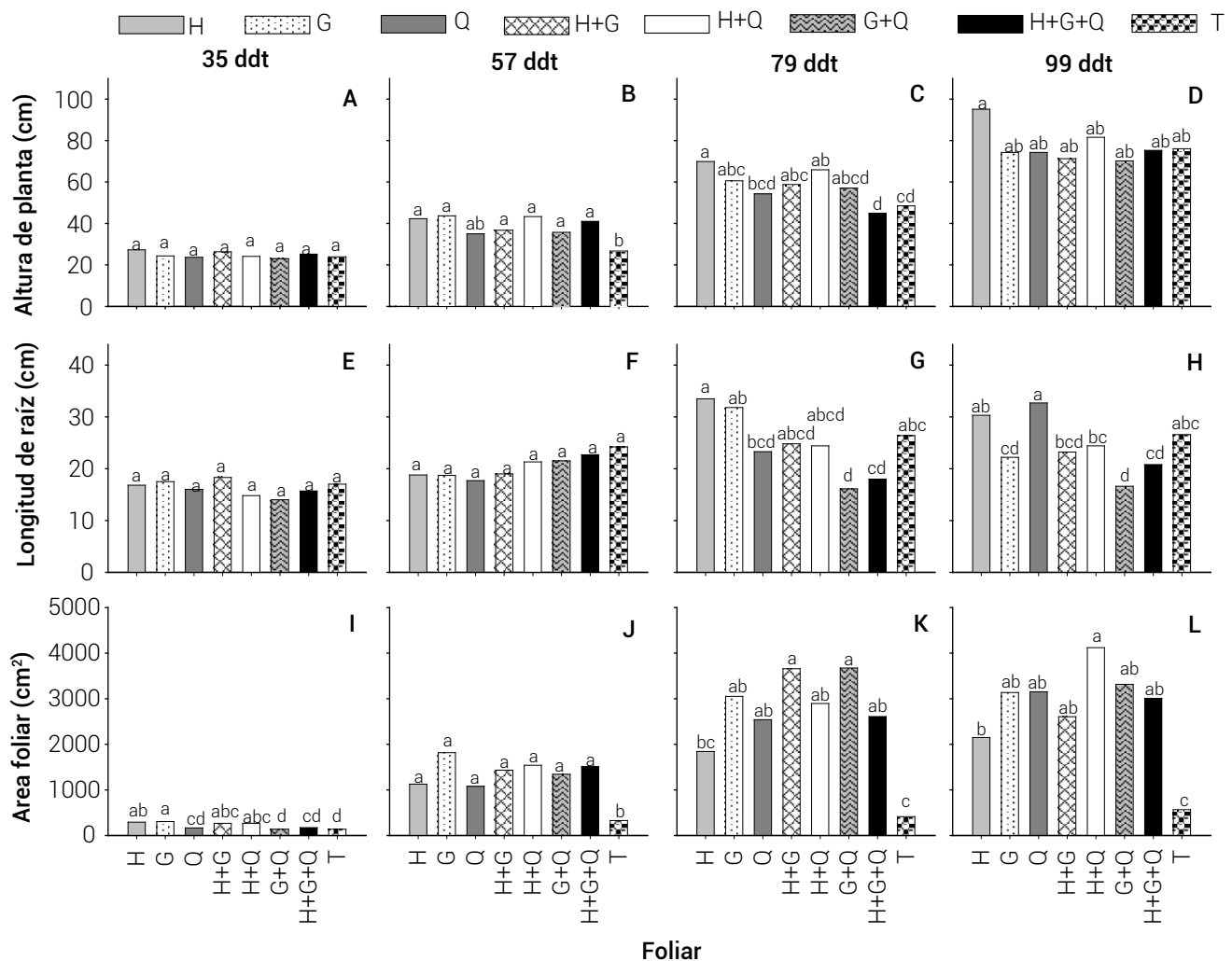


Figura 1. Altura de planta (A-D), longitud de raíz (E-H) y área foliar (I-L) de estevia a los 35, 57, 79 y 99 días después del trasplante (ddt). T: testigo, H: humus, G: gallinaza. Letras distintas en las barras de cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0,05).

fue notorio que el testigo fue el tratamiento con el menor PSt. Para los 99 ddt existió una clara diferencia entre los tratamientos, donde el tratamiento Humus + químico mostró el valor estadísticamente más alto (38.4g/planta), seguido por los tratamientos gallinaza, humus + gallinaza, gallinaza + químico y humus + gallinaza + químico, con valores de 29, 26.6, 31.3, y 26.4 g, respectivamente; el testigo obtuvo el menor PSt (4.70 g/planta), claramente se observa mayor efecto de cualquier tratamiento de fertilización química u orgánica en comparación con el testigo (Figura 2). Al respecto Cauch-Cauch *et al.* (2022) reportaron que el uso de hongos micorrícicos arbusculares más 25 % de P provocó una respuesta fisiológica de la planta en crecimiento y producción de biomasa, asociada con un mayor contenido de clorofila y mejor tasa fotosintética con respecto a plantas no inoculadas.

Peso seco de hoja (PSh)

A los 35 ddt el tratamiento con humus presentó el mayor PSh con 2.24 g/planta; a los 57 ddt todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales y superiores al testigo, con valores de 6.93 a 8.60 g/planta, mientras que el testigo tuvo 2.17 g/planta. A los 79 ddt los tratamientos gallinaza, humus + gallinaza, humus + químico y gallinaza + químico fueron superiores al testigo e iguales entre ellos con valores de 21.22, 24.30, 19.57, 21.44 g, respectivamente. A los 99 ddt los tratamientos humus + químico y gallinaza + químico fueron superiores al resto de los tratamientos con valor de 44.90 g/planta. Es importante mencionar que en todos los muestreos el testigo obtuvo el valor más bajo en PSh (Figura 2). De manera general, aplicaciones combinadas de fertilizantes nitrogenados y microorganismos mejora el crecimiento, el rendimiento y la acumulación de nutrientes en las plantas de stevia (Youssef *et al.*, 2021). En un estudio realizado por Villalba *et al.* (2018), encontraron el mayor PSh a los 73 ddt con aplicaciones de 2198 g/planta de humus y 706 g/planta de gallinaza, con valores de 19 y 16 g/planta, respectivamente, estos resultados son similares a los encontrados en este estudio, sobre todo en el tercer muestreo, a los 79 ddt.

Peso seco de raíz (PSr)

Esta variable sólo mostró diferencias significativas a los 79 y 99 ddt. A los 79 ddt el tratamiento con gallinaza obtuvo el mayor valor en PSr (8.87 g/planta) y el tratamiento gallinaza + químico presentó el menor valor (1.23 g/planta). A los 99 ddt los tratamientos humus y gallinaza de manera individual tuvieron el mayor PSr (13.13 y 11.47 g), respectivamente, los demás tratamientos fueron iguales. Se observa que tanto humus como gallinaza al mezclarse con otro tipo de fertilizante provocan una disminución en el PSr (Figura 2).

Peso seco total por planta (PSto)

El PSto a los 35 ddt mostró valores entre 1.67 y 3.88g/planta para los tratamientos humus y testigo, respectivamente; en los muestreos a los 57, 79 y 99 ddt todos los tratamientos que tenían algún tipo de fertilización fueron estadísticamente iguales entre ellos, y estadísticamente superiores al testigo. El PSto a los 99 ddt en plantas con algún tratamiento de fertilización estuvo entre 55.7 y 99 g/planta, mientras que el testigo obtuvo 14.3 g/planta (Figura 2). Youssef *et al.* (2021) reportaron menores PSto que los reportados en este estudio, ellos reportaron valores de 32.96 g y 45.38 g a los 145 ddt en 2018 y a los 138 ddt en 2019 en su mejor tratamiento con fertilización orgánica. Los resultados de este estudio son similares a los reportados por Villalba *et al.* (2018), quienes obtuvieron peso seco de 48 y 74 g/planta, con aplicaciones de 706 g de gallinaza y 2198 g/planta de humus, respectivamente.

Índices fisiotécnicos

Tasa de crecimiento relativo (TCR)

La TRC ($\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}/\text{planta}$) se refiere al crecimiento en biomasa seca a partir de 1 g de masa seca de la planta en un intervalo de tiempo, con relación a la biomasa inicial (Grisafi y Tombesi, 2023). En esta variable solo en el primer intervalo de medición se presentaron diferencias significativas, siendo los tratamientos gallinaza + químico y humus + gallinaza + químico los que obtuvieron los mayores valores (0.083 y 0.084 $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}/\text{planta}$, respectivamente), los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales, separándose del testigo, el cual obtuvo el menor valor (0.047 $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}/\text{planta}$, Cuadro 1). De manera general, TCR fue disminuyendo conforme la planta fue envejeciendo, esto se debe a que la eficiencia en la producción de biomasa puede reducirse con el tiempo a medida que las plantas se vuelven senescentes y aumenta la cantidad de tejidos leñosos no fotosintéticos (Jarma-Orozco *et al.*, 2020).

Tasa de asimilación neta (TAN)

La TAN ($\text{g cm}^{-2}\text{d}^{-1}$) es un índice fisiológico que permite conocer la cantidad de biomasa acumulada por la planta por unidad de área foliar; es un estimador de la eficiencia fotosintética de la planta para producir carbohidratos (Aguilar *et al.*, 2015; Díaz-López *et al.*, 2020; Jarma-Orozco *et al.*, 2020). En esta investigación no se encontraron diferencias significativas del TAN entre los tratamientos evaluados; sin embargo, se observó que la TAN disminuyó conforme avanzó el ciclo de producción (0.8, 0.5 y 0.46 $\text{kg g}^{-1} \text{día}^{-1}/\text{planta}$ en los periodos de crecimiento de 35-57,

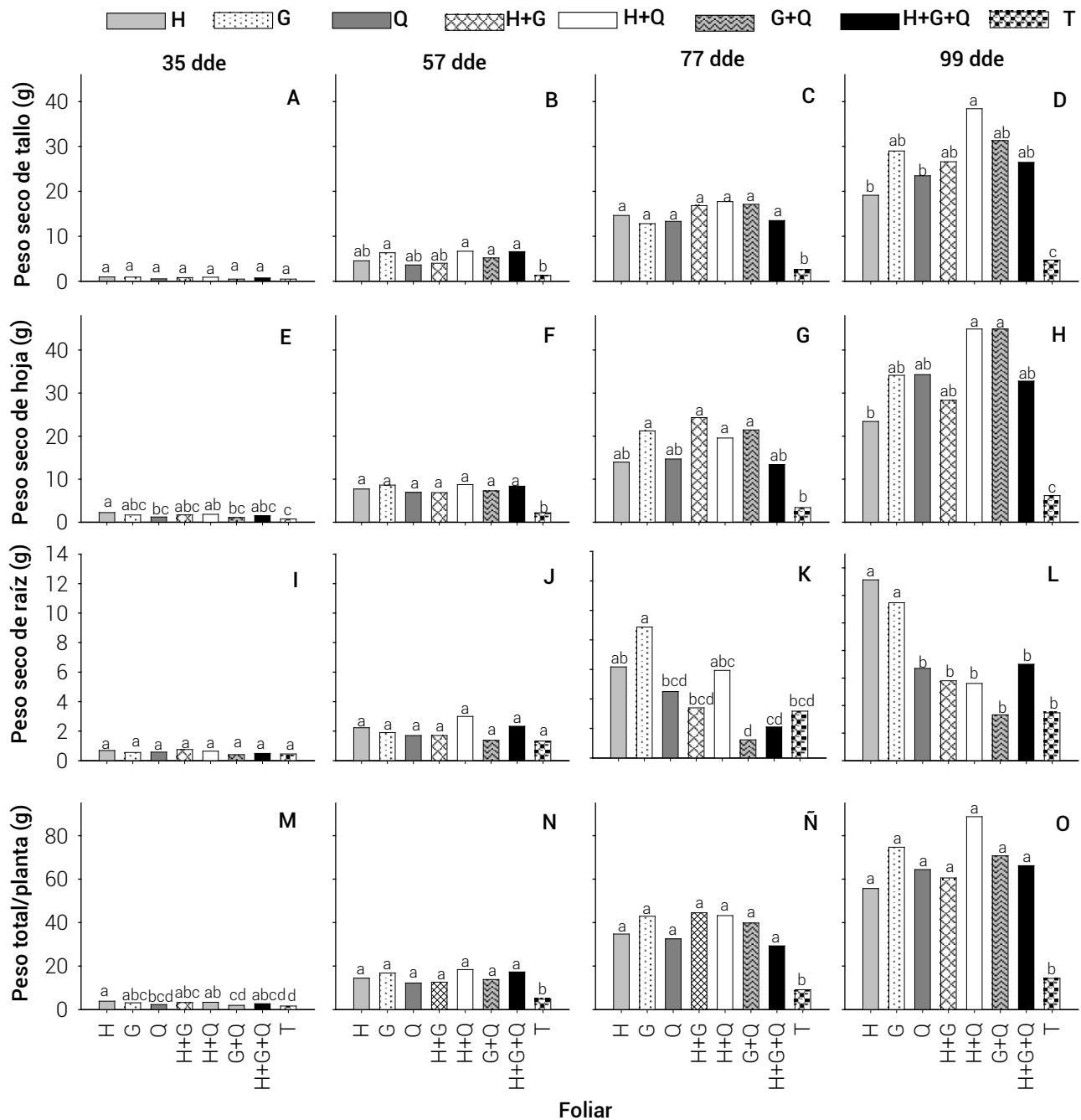


Figura 2. Peso seco tallo (A-D, g), de hoja (E-H, g), raíz (I-L, g) y total por planta (M-O, g) de estevia a los 35, 57, 79 y 99 días después del trasplante en ocho tratamientos de fertilización. T: testigo, H: humus, G: gallinaza. Letras distintas en las barras de cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

57-79 y 79-99 ddt, respectivamente). Díaz-López *et al.* (2020) reportaron un comportamiento similar en *Ricinus communis* L. con diferentes aplicaciones de N, donde la TAN decreció de 0.0049 a 0.00042 g cm⁻²d⁻¹ de 30 a 120 días después de plantadas, debido al crecimiento del follaje, y a medida que éste crece la TAN se reduce proporcionalmente

(Rodríguez y Lehner, 2006); además, la TAN se puede ver afectada por otros factores como lo demostraron Jarama-Orozco *et al.* (2020), quienes reportaron reducciones de la TAN por radiación solar directa, si existe alguna cubierta se presenta mayor capacidad en la producción de biomasa fotosintética, probablemente debido a los niveles más

bajos de radiación y menores temperaturas en este sistema.

Relación de área foliar (RAF)

La RAF es una medida del balance entre la capacidad fotosintética potencial y el costo respiratorio potencial. En el periodo de 35 a 57 ddt se encontraron valores de RAF de 75.37 a 100.79 cm² día⁻¹/planta, los tratamientos gallinaza y humus + gallinaza fueron estadísticamente iguales con valores de 101.51 y 100.79 cm² día⁻¹/planta, respectivamente. En el periodo de 79 a 99 ddt el humus + gallinaza, al igual que en el periodo 57 a 79 ddt, continuó siendo estadísticamente superior junto con los tratamientos gallinaza + humus y humus + gallinaza + químico, con valores de 67.33 a 69.63 cm² día⁻¹/planta. La mayor RAF en el último periodo de evaluación a los 79-99 ddt indicó que mantiene por más tiempo su área foliar; la RAF, al igual que la TAN, conforme va creciendo el cultivo va disminuyendo (Orozco-Vidal *et al.*, 2011) (Cuadro 3).

Relación de peso foliar (RPF)

LA RPF indica el incremento de la frondosidad de la hoja (Lone y Kuchay, 2021). No se presentaron diferencias significativas en el intervalo de 35-57 ddt, resultados que coinciden con los de Santis *et al.* (2019), quienes no encontraron diferencias significativas en el cultivo de tomate al probar Fe, Cu y Zn en diferentes dosis. En el periodo de 57-79 ddt los tratamientos humus + gallinaza y gallinaza + químico tuvieron los valores más altos (0.147 y 0.142 g g⁻¹, respectivamente). En el periodo de 79-99 ddt el tratamiento gallinaza + químico mostró RPF de 0.133 g g⁻¹, mientras que el testigo tuvo la menor RPF. En general, la RPF disminuyó ligeramente conforme fue creciendo el cultivo, los valores promedios fueron 0.137, 0.120 y 0.110 g g⁻¹ para los periodos de 35-57, 57-79 y de 79-99 ddt, respectivamente (Cuadro 4). Esta disminución gradual de RAF y RPF, conforme creció la planta, se debe a que en las primeras etapas del crecimiento se invierte una mayor parte de fotoasimilados en las estructuras vegetativas y en el desarrollo fotosintético, mientras que en la etapa reproductiva los fotoasimilados son dirigidos hacia los aparatos reproductivos (Orozco-Vidal *et al.*, 2011).

Área foliar específica (AFE)

El AFE es la relación entre el área foliar total de la planta y la materia seca total de las hojas de la planta, es una medida del espesor de las hojas; valores altos de AFE indican hojas delgadas que poseen alta superficie de área por pocas unidades de peso (Rodríguez y Leihner, 2006).

No se detectaron diferencias significativas en AFE entre

tratamientos en los intervalos 35-57 y 79-99 ddt; de igual manera, Debarba *et al.* (2021) no encontraron diferencias significativas en AFE al probar 100, 200 y 300 kg ha⁻¹ de N en estevia; sin embargo, sí se detectaron diferencias significativas a los 57-79 ddt, los valores registrados fueron de 9291 a 18588 cm² g⁻¹/planta, correspondiendo al testigo y al tratamiento humus + gallinaza, respectivamente. Los valores de AFE fueron disminuyendo conforme fue creciendo el cultivo (Cuadro 5), lo que indica que en los primeros periodos con un AFE elevado incrementa la apetencia y fragilidad de las hojas, al tiempo que se incrementa el riesgo de pérdidas prematuras de tejido (Lee y Heuvelink, 2003).

Coefficientes de partición de biomasa (CPB)

No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en CPB de hojas y raíz a los 35 ddt y en CPB de tallo a los 35 y 57 ddt. La partición de biomasa de hojas en todos los muestreos fue mayor en alrededor de 50 %; después, siguió el tallo y por último la raíz, lo que indica que la planta destina mayor cantidad de asimilados al crecimiento de hojas, lo que resulta favorable, ya que es el órgano que se aprovecha. El tratamiento de humus a los 99 ddt tuvo el mayor CPB de hoja con un valor de 23.8 %. En CPB del tallo a los 99 ddt los tratamientos humus + gallinaza, humus + químico y gallinaza + químico tuvieron el mayor valor con 44.0, 44.3, 43.9 %. Respecto al CPB de raíz, a los 57, 79 y 99 ddt el testigo tuvo la mayor partición de biomasa de raíz, esto puede deberse a que al no tener nutrientes disponibles, como sucede en los otros tratamientos, la planta tiene que propiciar mayor crecimiento de raíz que el resto de los tratamientos en busca de nutrientes (Figura 3).

De manera general, se puede mencionar que la combinación humus + química o humus + gallinaza fueron las que mostraron mayor número de variables sobresalientes, por lo que se considera que esas combinaciones pudieran ser las más factibles de adoptar, esto se puede deber a que se tiene una sinergia entre las dos fuentes de nutrientes en las que están disponibles los elementos que necesita la planta para obtener sus nutrientes, por lo que ambos fertilizantes se complementan (Tlelo-Cuautle *et al.*, 2020), a diferencia de la aplicación de cada una de las partes por separado de los fertilizantes químico, gallinaza y humus; en el mismo sentido, Zaman *et al.* (2018) reportaron que una fertilización orgánica de 7.5 t ha⁻¹ + 50 % de fertilización química ejercen una influencia positiva en el crecimiento y el rendimiento de biomasa foliar y en el contenido de esteviósido de la estevia y la fertilidad del suelo; en contraste, una combinación triple 300 g/planta de gallinaza + 400g/planta de humus + fertilización química (180N-60P-92K) no se vio favorecida,

Cuadro 1. Tasa de crecimiento relativo (TCR, g g⁻¹ d⁻¹/planta) de estevia a los 57, 79 y 99 días después del trasplante en ocho tratamientos de fertilización.

ddt	Humus	Gallinaza	Químico	H+G	H+Q	G+Q	H+G+Q	Testigo	\bar{x}
35-57	0.060 ^{ab}	0.079 ^{ab}	0.078 ^{ab}	0.060 ^{ab}	0.078 ^{ab}	0.083 ^a	0.084 ^a	0.047 ^b	0.070
57-79	0.040 ^a	0.042 ^a	0.044 ^a	0.056 ^a	0.037 ^a	0.052 ^a	0.025 ^a	0.030 ^a	0.041
79-99	0.021 ^a	0.025 ^a	0.029 ^a	0.015 ^a	0.033 ^a	0.023 ^a	0.037 ^a	0.020 ^a	0.026

T: testigo, H: humus, G: gallinaza, Q: químico. Letras distintas en superíndice en cada fila indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0.05).

Cuadro 2. Tasa de asimilación neta (TAN, kg g⁻¹ día⁻¹/planta) a los 57, 79 y 99 días después del trasplante en ocho tratamientos de fertilización.

ddt	Humus	Gallinaza	Químico	H+G	H+Q	G+Q	H+G+Q	Testigo	\bar{x}
35-57	0.77 ^a	0.75 ^a	0.94 ^a	0.60 ^a	0.96 ^a	1.01 ^a	1.06 ^a	0.63 ^a	0.8
57-79	0.63 ^a	0.50 ^a	0.59 ^a	0.60 ^a	0.52 ^a	0.61 ^a	0.29 ^a	0.58 ^a	0.5
79-99	0.47 ^a	0.48 ^a	0.46 ^a	0.20 ^a	0.61 ^a	0.36 ^a	0.61 ^a	0.49 ^a	0.46

T: testigo, H: humus, G: gallinaza, Q: químico. Letras distintas en superíndice en cada fila indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0.05).

Cuadro 3. Relación de área foliar (cm² día⁻¹/planta) de estevia a los 57, 79 y 99 días después del trasplante en ocho tratamientos de fertilización.

ddt	Humus	Gallinaza	Químico	H+G	H+Q	G+Q	H+G+Q	Testigo	\bar{x}
35-57	78.67 ^b	101.51 ^a	79.37 ^b	100.79 ^a	82.39 ^{ab}	81.12 ^{ab}	78.96 ^b	75.37 ^b	84.80
57-79	65.70 ^{bc}	89.07 ^{ab}	83.96 ^{abc}	104.60 ^a	76.35 ^{bc}	91.90 ^{ab}	93.41 ^{ab}	57.02 ^c	82.80
79-99	43.34 ^{ab}	56.21 ^{ab}	64.11 ^{ab}	67.33 ^a	56.50 ^{ab}	68.78 ^a	69.63 ^a	42.53 ^b	58.80

T: testigo, H: humus, G: gallinaza, Q: químico. Letras distintas en superíndice en cada fila indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0.05).

Cuadro 4. Relación de peso foliar (RPF) de estevia a los 57, 79 y 99 días después del trasplante en ocho tratamientos de fertilización.

ddt	Humus	Gallinaza	Químico	H+G	H+Q	G+Q	H+G+Q	Testigo	\bar{x}
35-57	0.150 ^a	0.134 ^a	0.147 ^a	0.148 ^a	0.129 ^a	0.149 ^a	0.136 ^a	0.104 ^a	0.137
57-79	0.107 ^{ab}	0.124 ^{ab}	0.128 ^{ab}	0.147 ^a	0.104 ^{ab}	0.142 ^a	0.121 ^{ab}	0.084 ^b	0.120
79-99	0.090 ^{bc}	0.113 ^{abc}	0.120 ^{abc}	0.123 ^{ab}	0.108 ^{abc}	0.133 ^a	0.119 ^{abc}	0.080 ^c	0.110

Letras distintas en superíndice en cada fila indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0.05).

Cuadro 5. Área foliar específica de estevia a los 57, 79 y 99 días después del trasplante en ocho tratamientos de fertilización.

ddt	Humus	Gallinaza	Químico	H+G	H+Q	G+Q	H+G+Q	Testigo	\bar{x}
35-57	11220 ^a	19530 ^a	10609 ^a	16621 ^a	14050 ^a	11866 ^a	10837 ^a	13320 ^a	13507
57-79	10136 ^{ab}	15208 ^{ab}	13951 ^{ab}	18588 ^a	14755 ^{ab}	15683 ^{ab}	17257 ^{ab}	9291 ^b	14359
79-99	6017 ^a	6615 ^a	7927 ^a	8219 ^a	7221 ^a	8031 ^a	8839 ^a	5601 ^a	7309

Letras distintas en superíndice en cada fila indican diferencias significativas (Tukey, P ≤ 0.05).

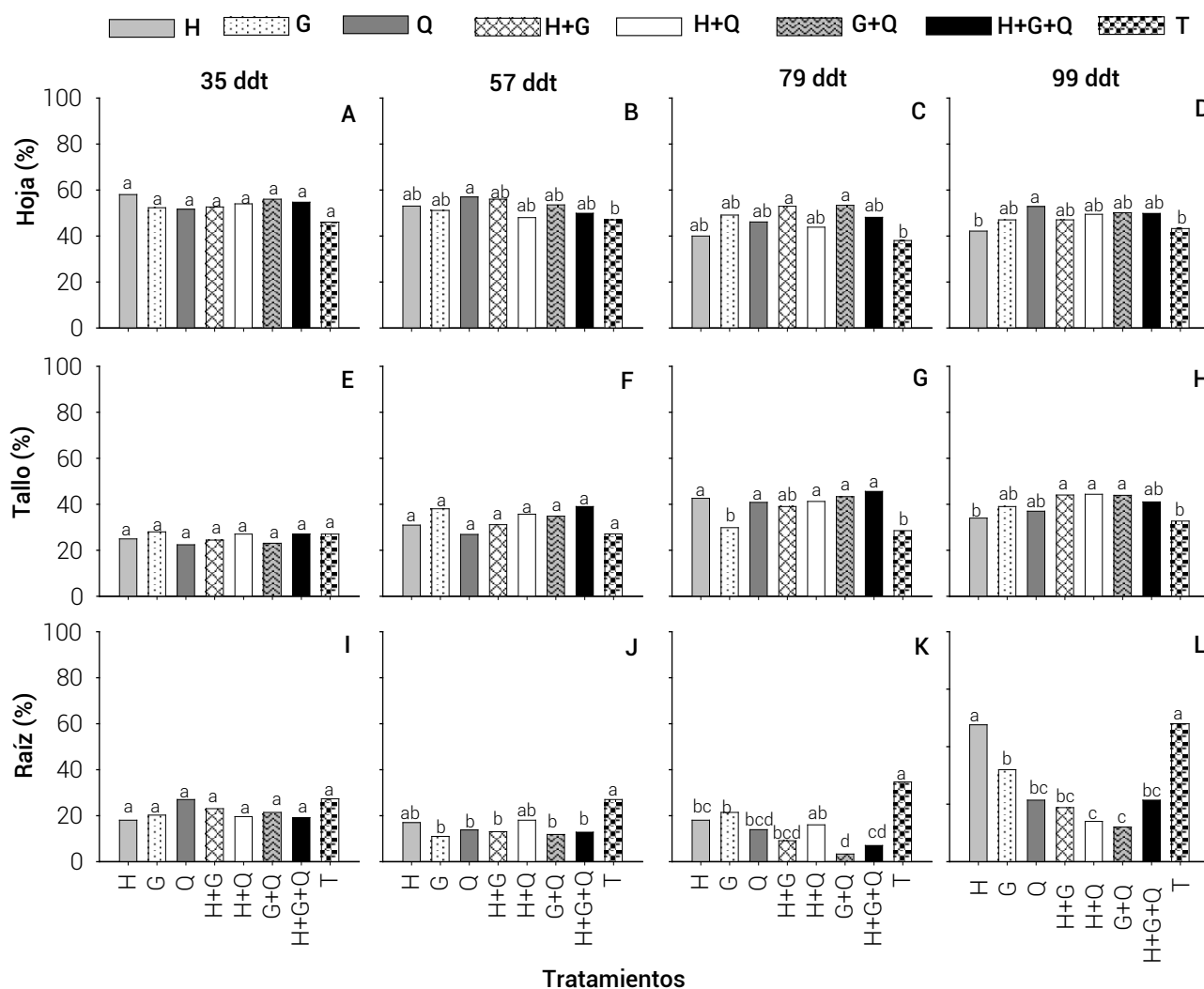


Figura 3. Coeficientes de partición de biomasa (CPB) de hoja (A-D), tallo (E-H) y raíz (I-L) de estevia a los 35, 57, 79 y 99 días después del trasplante en ocho tratamientos de fertilización. T: testigo, H: humus, G: gallinaza. Letras distintas en las barras de cada gráfica indican diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

probablemente debido a un exceso de nutrientes, lo que provoca que la planta reduzca el crecimiento, reflejado en menor área foliar, peso del tallo y biomasa, como lo reportaron Casierira-Posada *et al.* (2010).

CONCLUSIONES

Las fuentes de fertilización humus, gallinaza y químico aplicadas por separado en estevia generan buenos resultados en algunas variables como mayor longitud de la raíz (fertilización química), altura de planta y peso seco de raíz (humus) peso seco de raíz (gallinaza); sin embargo, una fertilización combinada de fertilización química más orgánica los supera, ya que humus + fertilización química produce mayor área y peso foliar y de tallo; también, la

aplicación de gallinaza + químico produjo el mayor PSh, RPF, RAF y PBt pero produce plantas de menor longitud en la parte aérea y de raíz, además de la menor TCR. Estos resultados contribuyen a una producción más amigable con el ambiente. La combinación gallinaza + humus y humus + gallinaza + química no mostró resultados sobresalientes, pero si fueron mejores que el testigo.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar C. C., J. A. S. Escalante E. and I. Aguilar M. (2015) Analysis of growth and yield of maize in warm climate according to genotype, biofertilizer and nitrogen. *Terra Latinoamericana* 33:51-62.
 Avendaño A. C. H., A. García C., R. A. Gallardo M., G. Cruz S., J. Aguilar H., A. Mendoza L. y C. R. Castillo M. (2012) La estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) un cultivo que llegó a México para quedarse. *Agro productividad* 5:12-21.

- Barroso M. R., N. Martins, L. Barros, A. L. Antonio, M. Â. Rodrigues, M. J. Sousa ... and I. C. F. R. Ferreira (2018) Assessment of the nitrogen fertilization effect on bioactive compounds of frozen fresh and dried samples of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Food Chemistry* 243:208-213, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.137>
- Benhmimou A., M. Ibriz, A. Douaik, M. Lage, C. A. Faiz, S. Chauqi and A. Zouahri (2018) Effect of NPK fertilization on the growth, yield, quality and mineral nutrition of new sweet plant in Morocco (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *American Journal of Biology and Life Sciences* 6:36-43.
- Casierra-Posada F., L. A. González y C. Ulrichs (2010) Crecimiento de plantas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Itálica*) afectadas por exceso de zinc. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4:153-162, <https://doi.org/10.17584/rcch.2010v4i2.1237>
- Cauich-Cauich R. A., J. M. Tun-Suárez, E. A. Herrera-Parra, J. Cristóbal-Alejo and M. G. Lozano-Contreras (2022) Arbuscular mycorrhizal symbiosis as sustainable alternative in the *Stevia rebaudiana* Bertoni production. *Agro Productividad* 1:1-9, <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i1.2093>
- Debarba R. J., C. Deschamps, L. A. Kanis, D. Moterle and M. Rampelotti (2021) Effects of nitrogen fertilization on growth and yield of diterpene glycosides in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 15:e10591, <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i1.10591>
- Díaz-López E., J. M. E. Aguilar-Luna and J. M. Loeza-Corte (2020) Net assimilation rate and agronomic efficiency of nitrogen in tartago (*Ricinus communis* L.) (Euphorbiaceae) in dry climate. *Scientifica* 2020:7064745, <https://doi.org/10.1155/2020/7064745>
- Escutia-López K. N., M. E. Sánchez P. and R. Mora E. (2019) A comprehensive review on the nutritional and therapeutical aspects of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of Applied Biotechnology and Bioengineering* 6:297-302, <https://doi.org/10.15406/jabb.2019.06.00207>
- Grisafi F. and S. Tombesi (2023) Temperature acclimation of leaf dark respiration in *Corylus avellana*: the role of relative growth rate. *Tree Physiology* 43:1562-1570, <https://doi.org/10.1093/treephys/tpad069>
- Jarma-Orozco A., E. Combatt-Caballero and J. Jaraba-Navas (2020) Growth and development of *Stevia rebaudiana* Bert., in high and low levels of radiation. *Current Plant Biology* 22:100144, <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100144>
- Joseph D. and J. George (2019) Remedial potentials of sweet leaf: a review on *Stevia rebaudiana*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research* 54:91-95.
- Iatridis N., A. Kougioumtzi, K. Vlataki, S. Papadaki and A. Magklara (2022) Anti-cancer properties of *Stevia rebaudiana*; more than a sweetener. *Molecules* 27:1362, <https://doi.org/10.3390/molecules27041362>
- Lee J. H. and E. Heuvelink (2003) Simulation of leaf area development based on dry matter partitioning and specific leaf area for cut chrysanthemum. *Annals of Botany* 91:319-327, <https://doi.org/10.1093/aob/mcg015>
- Lone M. A. and S. A. Kuchay (2021) Quantitative growth analysis of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *International Journal of Environmental & Agriculture Research* 7:117-128, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5336079>
- Lremizi I., A. A. Ouazzou, C. Bensouici and M. L. Fauconnier (2023) Chemical composition, antioxidant, anticholinesterase, and alpha-glucosidase activity of *Stevia rebaudiana* Bertoni extracts cultivated in Algeria. *Journal of Food Measurement and Characterization* 17:2639-2650, <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01704-8>
- Mahajan M. and P. K. Pal (2022) Yield response, accumulation of bioactive ingredient and ion uptake of *Stevia rebaudiana* to different soil-moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management* 264:107511, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107511>
- Mohammed M. M. H., A. A. A. Meawad, E. E. A. M. El-Mogy and M. A. I. Abdelkader (2019) Growth, yield components and chemical constituents of *Stevia rebaudiana* Bert. as affected by humic acid and NPK fertilization rates. *Zagazig Journal of Agricultural Research* 46:13-26, <https://doi.org/10.21608/ZJAR.2019.40172>
- Ochoa V. E. R., A. A. Black N. e I. Rodriguez D. (2023) Efecto de la aplicación de gallinaza en crecimiento y desarrollo del cultivo de zanahoria. *Revista Científica Agroecosistemas* 11:36-42.
- Orozco-Vidal J. A., P. Yescas-Coronado, M. A. Segura-Castruita, R. Valdez-Cepeda, E. Martínez-Rubín de Celis, J. A. Montemayor-Trejo ... and P. Preciado-Rangel (2011) Análisis de crecimiento de tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en una región árida de México. *Phyton (Buenos Aires)* 80:47-52.
- Ramírez J. G. (2011) Paquete tecnológico estevia (*Stevia rebaudiana*). Establecimiento y mantenimiento. Campo Experimental Mocochoá, INIFAP Mocochoá, Yucatán, México. 14 p.
- Ramírez-Jaramillo G. y M. G. Lozano-Contreras, (2016) Potencial productivo de *Stevia rebaudiana* Bertoni, bajo condiciones de riego en México. *Agroproductividad* 9:76-81.
- Rivera-Avilés J. A., A. Jarma-Orozco and M. F. Pompelli (2021) *Stevia rebaudiana* Bertoni: the interaction of night interruption on gas exchange, flowering delay, and steviol glycosides synthesis. *Horticulturae* 7:543, <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120543>
- Rodríguez W. y D. Leihner (2006) Análisis del Crecimiento Vegetal. Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 56 p.
- Santis S. M., M. Cabrera F., A. Benavides M., A. Sandoval R., H. Ortega O. y A. Robledo O. (2019) Rendimiento agronómico del jitomate suplementado con microelementos Fe, Cu y Zn. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10:1379-1391, <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1822>
- SAS Institute (2007) SAS version 9.1.3 para Windows. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 404 p.
- Tlelo-Cuautle A. M., O. R. Taboada-Gaytán, J. Cruz-Hernández, H. López-Sánchez y P. A. López (2020) Efecto de la fertilización orgánica y química en el rendimiento de fruto de chile Poblano. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43:238-238, <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.238>
- Verma P. P. S., A. Kumar, R. C. Padalia and V. R. Singh (2020) Influence of NPK levels on growth and yield of *Stevia rebaudiana* Bertoni under hills of Uttarakhand. *Indian Journal of Natural Products and Resources* 11:66-72, <https://doi.org/10.56042/ijnpr.v11i1.22029>
- Villagrán J. A., C. Huayamave B., J. Lara G. y O. Maluk S. (2015) *Stevia*: producción y procesamiento de un endulzante alternativo. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 6 p. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5208/1/8555.pdf> (Junio 2024).
- Villalba M. C. J., R. M. López R., A. Trinidad S., A. Quevedo N. y A. Muratalla L. (2018) Glucósidos en respuesta a dos fuentes de nutrición en *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Terra Latinoamericana* 36:411-421, <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.318>
- Youssef M. A., A. F. Yousef, M. M. Ali, A. I. Ahmed, S. F. Lamlom, W. R. Strobel and H. M. Kalaji (2021) Exogenously applied nitrogenous fertilizers and effective microorganisms improve plant growth of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) and soil fertility. *AMB Express* 11:133, <https://doi.org/10.1186/s13568-021-01292-8>
- Zaman M. M., M. A. Rahman, T. Chowdhury and M. A. H. Chowdhury (2018) Effects of combined application of chemical fertilizer and vermicompost on soil fertility, leaf yield and stevioside content of stevia. *Journal of the Bangladesh Agricultural University* 16:73-81, <https://doi.org/10.3329/jbau.v16i1.36484>