



Utilización de densidades de plantas y un consorcio microbiano para la producción sostenible de girasol*

Use of plant densities and a microbial consortium for sustainable sunflower production

Yanery Pérez-Díaz¹, Alexander Calero-Hurtado², Kolima Peña Calzada³, Alay Jiménez Medina⁴

* Recepción: 24 de marzo, 2025. Aceptación: 19 de junio, 2025. La investigación formó parte del proyecto titulado “Creación de capacidades para la producción escalonada de oleaginosas y aceites comestibles sobre bases agroecológicas” bajo el código PN211LH012-36. Vinculado a la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS).

¹ Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Centro Universitario Municipal de Taguasco, Sancti Spíritus, Cuba. yaneryemily@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-4568-1981>).

² Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Departamento de Botânica e Ecologia, Instituto de Biociências, Cuiabá, Brasil. alexcalero34@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-6536-2908>). Autor para correspondencia.

³ Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sancti Spíritus, Cuba. kolimapena@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-4883-4293>).

⁴ Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Villa Clara, Cuba. alayinivit@gmail.com, (<https://orcid.org/0000-0002-7345-5343>).

Resumen

Introducción. El uso de los consorcios microbianos (CM) combinado con densidades de plantas (DP) adecuadas puede ser una alternativa viable y amigable para aumentar la producción sustentable de girasol (*Helianthus annuus* L.). **Objetivo.** Determinar los efectos individuales y combinados de los consorcios microbianos y las densidades de plantas sobre el crecimiento y rendimiento del girasol en condiciones de déficit hídrico. **Materiales y métodos.** En condiciones de campo se realizó un experimento distribuido en parcelas divididas, en un diseño de bloques al azar con tres réplicas. Las parcelas principales consistieron en dos DP (20 000 y 40 000 plantas/ha), y las parcelas secundarias en tres concentraciones del CM (0, 100 y 200 mL m⁻²). **Resultados.** Los resultados mostraron que, de forma individual, la DP y el CM influyeron directamente en el crecimiento y el rendimiento del girasol. La DP de 40 000 plantas/ha favoreció la altura de la planta, el índice de área foliar, el porcentaje de semillas llenas, la masa de semillas por capítulo y el rendimiento. La DP de 20 000 plantas/ha aumentó el área foliar, el contenido de clorofila, el diámetro del capítulo y la semilla total y llena por capítulo. Además, las concentraciones de 100 mL m⁻² de CM estimularon en mayor medida el crecimiento y el rendimiento del girasol en ambas densidades en comparación con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM. **Conclusiones.** Los hallazgos de este estudio indican que la combinación entre la densidad de 40 000 plantas/ha y la inoculación con 100 mL m⁻² del CM, podría considerarse una estrategia local, viable, importante y amigable para incrementar la producción sustentable de girasol en condiciones de déficit hídrico.

Palabras clave: bioestimulantes, densidad de siembra, *Helianthus annuus*, microorganismos benéficos, rendimiento.



Abstract

Introduction. The use of microbial consortia (CM) combined with adequate plant densities (DP) can be a viable and friendly alternative to increase sunflower (*Helianthus annuus* L.) sustainable production. **Objective.** To determine the individual and combined effects of microbial consortia and plant densities on sunflower growth and yield under water-deficit conditions. **Materials and methods.** An experiment was carried out under field conditions distributed in split-plots, in a randomized block design with three replications. The main plots were two DP (20,000 and 40,000 plants ha⁻¹) and the secondary plots were three concentrations of the CM (0, 100, and 200 mL m⁻²). **Results.** Results showed that individually DP and CM directly influenced sunflower growth and yield. The DP of 40,000 plants ha⁻¹ favored plant height, leaf area index, percent of full seeds, seed mass per head, and yield. The DP of 20,000 plants/ha influenced leaf area, chlorophyll content, head diameter, and total and full seed per head. Additionally, the concentrations of 100 mL m⁻² of CM stimulated plant growth and yield in both densities compared to the treatments without CM and with 200 mL m⁻² of CM. **Conclusions.** The findings of this study indicate that the combination of a density of 40,000 plants/ha and inoculation with 100 mL m⁻² of CM could be considered a local, viable, important and friendly strategy to increase sustainable sunflower production under low rainfall conditions.

Keywords: biostimulants, sowing density, *Helianthus annuus*, benefic microorganisms, yield.

Introducción

En la actualidad, la producción de girasol es afectada por el cambio climático y el manejo antropogénico. El girasol es un cultivo estratégico por su versatilidad, aporte nutricional y sostenibilidad, y su producción favorece la economía agrícola, la seguridad alimentaria y el cuidado del medio ambiente, siendo clave en la industria agroalimentaria mundial (Zapletalová et al., 2023). La producción media mundial de girasol varía según la región, las condiciones climáticas y las prácticas agrícolas, con un rendimiento promedio mundial (2020-2023) de 1,5 a 1,8 t/ha en promedio global (Food and Agriculture Organization of the United Nations, n. d.). En Cuba, la producción media de girasol ha variado a lo largo de los años, influenciada por factores climáticos, tecnológicos y de manejo agrícola, con una producción promedio de 1,0 a 1,5 t/ha en condiciones normales (Calero Hurtado et al., 2025).

El cultivo del girasol es afectado por diversos factores como el monocultivo, la falta de rotación de cultivos, el uso de semillas de baja calidad o no certificadas, fechas de siembra inadecuadas, bajas o altas densidades de siembras, escasez de fertilización (sintética u orgánica), déficit hídrico, plagas, control de malezas, entre otras, que impactan en el rendimiento de este cultivo (Outhwaite et al., 2022). Aunque el girasol es una planta que tolera periodos cortos de sequía, los periodos extensos de sequía pueden reducir el crecimiento y el rendimiento del cultivo (Rezaizad et al., 2022). Las plantas de girasol que crecen en periodos prolongados de déficit hídrico pueden manifestar diversos cambios moleculares, bioquímicos, fisiológicos y estructurales que afectan el crecimiento de la planta (Calero Hurtado et al., 2025).

El estrés hídrico también limita la expansión celular y la división celular, reduciendo la altura de la planta, el área foliar y la producción de biomasa del girasol (Ghadirnezhad-Shiade et al., 2023). Además, la sequía induce la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), causando daño a membranas celulares y proteínas (Mathur & Roy, 2021). Asimismo, para reducir la pérdida de agua, los estomas se cierran, lo que disminuye la tasa fotosintética (Rezaizad et al., 2022). Similarmente, en condiciones severas, el sistema radicular se ve afectado y con ello la estructura general de la planta es más pequeña (Mathur & Roy, 2021). De esta misma manera, el estrés hídrico

durante la floración y el llenado de granos disminuye el número y peso de aquenios y puede alterarse el perfil de ácidos grasos, reduciendo la calidad nutricional (Ghaffari et al., 2023).

Un componente importante en la producción del girasol es la densidad de plantas por superficie, un factor que ha sido ampliamente estudiado, ya que influye en la competencia por recursos como luz, agua y nutrientes (Zapletalová et al., 2023). El manejo de las densidades de plantas en el cultivo del girasol puede depender de varios factores como la fertilidad del suelo, la humedad (suelo y aire), el porcentaje de germinación y las características agronómicas de los cultivares (Simón et al., 2023). El patrón espacial del cultivo es otro factor agronómico que puede afectar el rendimiento y la competitividad del cultivo frente a las malezas (Andrade et al., 2023). Asimismo, la densidad es significativa para aumentar el peso de las semillas, el tamaño del capítulo y el rendimiento (Rezaizad et al., 2022).

Es ampliamente conocido que, en las densidades bajas, las plantas desarrollan tallos más gruesos y mayor área foliar debido a la menor competencia por luz y nutrientes; mientras que las altas densidades pueden provocar un crecimiento alargado y débil, reducción del diámetro del tallo y menor área foliar por planta debido a la sombra mutua (Friedman, 2024). Adicionalmente, las bajas densidades producen menores rendimientos debido a un menor número de plantas por superficie; pero disminuye en densidades muy altas por el aumento de plantas estériles o capítulos pequeños (Andriienko et al., 2020). Por lo tanto, las densidades moderadas suelen maximizar el rendimiento por unidad de área sin comprometer la estabilidad del cultivo, aunque depende de las condiciones ambientales y del manejo agronómico.

El uso de los bioestimulantes en la agricultura moderna desempeña múltiples beneficios debido a que estos aumentan la tolerancia a los estreses abióticos, mejoran la asimilación de los nutrientes y aumentan el rendimiento de los cultivos, incluido el girasol (Bartucca et al., 2022). Algunos de estos bioestimulantes pueden contener uno solo microorganismo o varios, denominados estos últimos como consorcios microbianos (CM) (Calero-Hurtado et al., 2023; Devi et al., 2022). Por lo tanto, la aplicación de los CM representa una estrategia más robusta y eficaz que la aplicación individual de un microorganismo, aprovechando la complejidad y la resiliencia inherentes a las comunidades microbianas para lograr beneficios más amplios y sostenibles.

De esta manera, la aplicación de los bioestimulantes a las plantas de girasol ha demostrado efectos positivos en la germinación, desarrollo vegetativo, floración y rendimiento de las semillas (Gürsoy, 2022). Además, la utilización de los CM promueve el crecimiento y el rendimiento del girasol debido a la producción de fitohormonas (auxinas, citoquininas y giberelinas) (Castillo et al., 2013). Asimismo, los CM aumentan la disponibilidad de nutrientes y la fijación del nitrógeno (Santoyo et al., 2021). Los efectos benéficos de este CM a base de *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus bulgaricum* y *Saccharomyces cerevisiae* han sido recientemente informados en plantas oleaginosas como ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) (Díaz et al., 2024), maní (*Arachis hypogaea* L.) (González et al., 2025) y girasol (*Helianthus annuus* L.) (Calero Hurtado et al., 2025).

Por lo tanto, el manejo combinado de la densidad de plantas y el suministro de un consorcio microbiano puede ser una estrategia viable para minimizar los efectos perjudiciales del estrés hídrico en plantas de girasol. Consecuentemente, el objetivo de esta investigación fue determinar los efectos individuales y combinados de los consorcios microbianos y las densidades de plantas sobre el crecimiento y rendimiento del girasol en condiciones de déficit hídrico.

Materiales y métodos

El experimento se desarrolló entre enero y mayo de 2024 en las áreas de una finca perteneciente a la Empresa Agroindustrial Azucarera “Melanio Hernández” (22°00'56" N, 79°24'49" O) y una altitud de 51 m s. n. m.,

Tuínucu, Sancti Spíritus, Cuba. Las semillas de girasol, variedad ‘Caburé-15’, fueron obtenidas en la Empresa Provincial de Semillas, con un 95 % de germinación.

La siembra se realizó en época lluviosa a partir del 13 de enero de 2024. Las semillas se depositaron de forma manual, depositando tres semillas en el fondo del surco, a 0,80 m entre hileras y 0,50 y 0,25 m entre plantas para obtener densidades de 20 000 y 40 000 plantas/ha. El tipo de suelo predominante es Pardo Sialítico (Hernández-Jiménez et al., 2019), Cambisol (International Union of Soil Sciences, 2022). Durante el desarrollo de la investigación, fueron registradas las variables climatológicas por la Estación Provincial de Sancti Spíritus, donde la temperatura media diaria fue de 24,25 °C, la humedad relativa media diaria de 74 % y la precipitación pluvial acumulada de 18,34 mm.

Este experimento factorial se planificó en parcelas divididas, con dos densidades de plantas (20 000 y 40 000 plantas/ha) como tratamientos principales y tres concentraciones del consorcio microbiano (CM; 0, 100 mL m⁻² y 200 mL m⁻²) como tratamientos secundarios, con tres réplicas, estableciéndose seis tratamientos combinados. La superficie total del experimento fue de 500 m²; el tamaño de la parcela secundaria fue de 12 m² (incluyendo cinco surcos y tres metros de longitud) y el área útil fue de 8,80 m². El CM se inoculó con un pulverizador de presión retenida (Matabi, 16 L, Goizper Group, España), de forma directa en el fondo del surco, después de la siembra, con la humedad óptima para los microorganismos y la germinación de las semillas. Seguidamente, se cubrieron las semillas y el CM.

El CM fue adquirido gratuitamente en la sucursal de Labiofam de Sancti Spíritus, que se comercializa con los siguientes microorganismos: *Bacillus subtilis* B/23-45-10 Nato (5,4 × 10⁴ unidades formadoras de colonias [UCF]/mL), *Lactobacillus bulgaricum* B/103-4-1 (3,6 × 10⁴ UCF/mL) y *Saccharomyces cerevisiae* L-25-7-12 (22,3 × 10⁵ UCF/mL), con certificado de calidad, emitido por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, código R-ID-B-Prot-01-01.

Las labores del cultivo, tales como preparación de suelo, siembra, limpieza, entre otras, se realizaron de acuerdo con la guía para el cultivo del Ministerio de Agricultura (2020), con modificaciones en la fertilización (sin adición de fertilizantes químicos u orgánicos), control de plagas y la densidad de siembra. La preparación del suelo se realizó de forma combinada entre la tracción animal y la mecanizada. Las labores de rotura y mullido se realizaron con el uso de un tractor Yunz con arado de disco (Adi-3, Cuba) y una grada mediana, mientras que las labores siguientes, como el surcado y contra surcado, con tracción animal.

Una vez establecido el cultivo a los 10 días después de la emergencia (DDE) se realizó un raleo de uniformidad para reducir la abundancia de plantas y dejar una planta en cada sitio. Posteriormente, a los 10 y 35 DDE, se realizó el control de las malezas con apoyo de un azadón. En la etapa vegetativa, se realizaron dos muestreos a los 20 y 40 DDE; en 30 plantas al azar por tratamiento en el área útil (8,8 m²) para evaluar las variables del crecimiento, como la altura de planta, que se midió desde la base del tallo hasta el ápice apical con apoyo de una cinta métrica. El área foliar (AF, cm²) se determinó mediante la ecuación 1, tomada de Kemp (1960) y ajustada al factor de corrección (*k*) de 0,73 para plantas de girasol en el estado vegetativo (de la Vega & Hall, 2002).

$$AF = \sum (l * a) * k \quad (1)$$

Donde *l* es la longitud de cada hoja, *a* es el ancho de la hoja. El índice de área foliar por superficie (IAF, m² m⁻²) se calculó utilizando la ecuación 2.

$$IAF = \frac{(\text{Área foliar} * \text{Densidad de planta})}{\text{Área sembrada}} \quad (2)$$

El contenido de clorofila (CC, valores SPAD) se determinó con un medidor de clorofila portátil (modelo TYS-B, China) en la hoja +1 (primera hoja de arriba hacia abajo completamente expandida en el tercio superior de la planta), entre las 10:00 y 11:00 a. m.

En el momento de la cosecha (115 DDE), se seleccionaron 30 plantas al azar por tratamiento y se evaluaron los parámetros productivos como el diámetro de capítulo (DC, cm), que se realizó con una regla graduada. El número de semillas por capítulo (STC), semillas llenas por capítulo (SLL) y semillas vanas por capítulo (SVC) que se determinó por conteo directo. El porcentaje de semillas llenas por capítulo (PSLL) se calculó por regla de tres (SLL entre STC, multiplicado por 100). La masa de las semillas por capítulo (MSC, g) que se obtuvo pesando las semillas en una balanza digital (modelo BS 124S y precisión $\pm 0,01$ g). Por último, el rendimiento ($t\ ha^{-1}$) se determinó a partir de la MSC y el número de plantas por superficie.

Los datos de las variables de crecimiento y rendimiento fueron sometidos a los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Después, se analizaron mediante un análisis de varianza de dos vías, y cuando la prueba de Fisher (F) fue significativa ($p < 0,05$), se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de las medias ($p < 0,05$). Todos los análisis se realizaron en el *software* SPSS Statistics v.19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

Resultados

La altura de la planta (AP) reveló interacción significativa entre las parcelas primarias (DP) y las secundarias (CM) a los 20 DDE ($p < 0,01$) y a los 40 DDE ($p < 0,05$), respectivamente (Figura 1). La AP en ambos momentos evaluados (20 y 40 DDE) fue significativamente ($p < 0,01$) superior en la DP de 40 000 plantas/ha que en la DP de 20 000 plantas/ha (Figura 1). Por otra parte, el tratamiento con 100 $mL\ m^{-2}$ del CM a los 20 DDE mostró incrementos significativos en la AP de 24 % y 16 % en la DP de 20 000 plantas/ha y de 28 % y 17 % en la DP de 40 000 plantas/ha en comparación con los tratamientos sin CM y con 200 $mL\ m^{-2}$ de CM, respectivamente. Sin embargo, la inoculación con 200 $mL\ m^{-2}$ de CM exhibió aumentos significativos en la AP de 7 % y 11 % en las DP

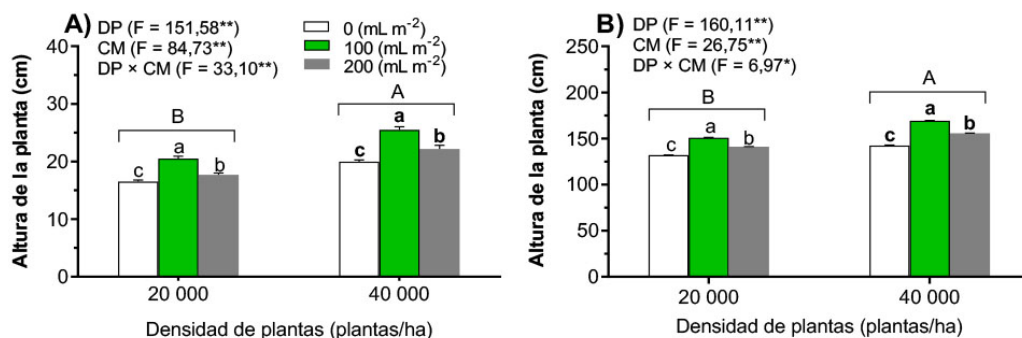


Figura 1. Valores promedios de la altura de la planta de girasol (variedad Caburé – 15) observados a los 20 días después de la emergencia (DDE) **A)** y a los 40 DDE **B)**, en función de dos densidades de plantas (DP, 20 000 y 40 000 plantas/ha) y tres concentraciones del consorcio microbiano (CM; 0, 100 y 200 $mL\ m^{-2}$). Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Letras diferentes entre grupos indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). DP $\times$ CM: interacción DP – CM; *, **: indican que los valores Fisher (F) son significativos en los niveles de probabilidad de 0,05 y 0,01, respectivamente.

Figure 1. Average values of sunflower plant height (variety Caburé – 15) observed at 20 days post-emergence (DAE) **A)** and at 40 DAE **B)**, in function of two plant densities (DP, 20,000 and 40,000 plants/ha) and three microbial consortium concentrations (CM; 0, 100, and 200 $mL\ m^{-2}$), Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Different letters among groups indicate significant differences, according to Tukey's test ($p < 0.05$). *, **: indicates that Fisher (F) values are significance at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

de 20 000 y 40 000 plantas/ha, respecto al tratamiento sin CM (Figura 1). A los 40 DDE, la inoculación con 100 mL m⁻² del CM mostró mayor AP en 13% y 10% en la DP de 20 000 plantas/ha y 19 % y 12 % en la DP de 40 000 plantas/ha, respectivamente, comparado con los otros tratamientos con CM (Figura 2).

El área foliar (AF) reveló interacción significativa entre los factores DP y CM a los 20 y 40 DDE. La DP de 20 000 plantas/ha mostró incrementos significativos en el AF a los 20 y 40 DDE en comparación con la DP de 40 000 plantas/ha en todos los tratamientos del CM (Figura 3). La inoculación con 100 mL m⁻² del CM reveló incrementos significativos en el AF en ambas DP (Cuadro 1). A los 20 DDE, el tratamiento de 100 mL m⁻² del CM incrementó significativamente el AF en 17 % y 11 % en comparación con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM en la DP de 20 000 plantas/ha, mientras que en la DP de 40 000 plantas/ha los incrementos en el AF fueron de 14 % y 8 % en relación con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM, respectivamente (Cuadro 1). A los 40 DDE, la concentración de 100 mL m⁻² de CM mostró incrementos significativos en el AF de 23 % y 13 % en la DP de 20 000 plantas/ha y de 12 % y 8 % en la DP de 40 000 plantas/ha, respectivamente, en comparación con los demás tratamientos del CM (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores promedios del área foliar e índice de área foliar observados en las plantas de girasol (variedad Caburé – 15) a los 20 días después de la emergencia (DDE) y 40 DDE en función de dos densidades de plantas (DP; 20 000 y 40 000 plantas/ha) y tres tratamientos del consorcio microbiano (CM; 0, 100 y 200 mL m⁻²). Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Table 1. Average values of leaf area and leaf area index observed in sunflower plants (variety Caburé – 15) at 20 days after emergence (DAE) and 40 DAE in function of two plant densities (DP; 20,000 and 40,000 plants/ha) and three microbial consortium treatments (CM; 0, 100, and 200 mL m⁻²). Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

DP (plantas/ha)	CM (mL m ⁻²)	Área foliar (cm ²)		Índice de área foliar (m ² m ⁻²)	
		20 DDE	40 DDE	20 DDE	40 DDE
20 000	0	88,8 ± 2,5 c	967,1 ± 5,3 c	1,78 ± 0,6 c	19,3 ± 0,8 c
	100	104,2 ± 1,7 a	1192,2 ± 3,1 a	2,08 ± 0,3 a	23,8 ± 0,4 a
	200	93,8 ± 2,2 b	1075,3 ± 4,8 b	1,89 ± 0,5 b	21,5 ± 0,5 b
40 000	0	81,5 ± 3,3 b	890,6 ± 5,0 c	3,27 ± 0,9 c	35,6 ± 2,5 c
	100	92,7 ± 2,1 a	994,4 ± 3,6 a	3,71 ± 0,5 a	39,8 ± 1,1 a
	200	87,6 ± 2,4 b	944,6 ± 4,2 b	3,50 ± 0,7 b	37,7 ± 1,8 b
Prueba F	DP	19,74**	8,33*	16,39**	32,24**
	CM	23,51**	111,58**	47,09**	99,94**
	DP × CM	7,37**	23,08**	39,55**	77,57**

DP: densidad de plantas; CM: consorcio microbiano; DP × CM: interacción DP-CM. Letras diferentes entre grupos indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). * y **: indican que los valores F son significativos en los niveles de probabilidad de 0,05 y 0,01, respectivamente. / DP: plant density; CM: microbial consortium; DP × CM: DP – CM interaction. Different letters among groups indicate significant differences, according to Tukey's test ($p < 0.05$). **: indicate that F value significance at 0.01 probability level.

El IAF exhibió interacción significativa para los factores DP y CM en ambos momentos evaluados (Cuadro 1). La DP de 40 000 plantas/ha mostró mayores IAF que la DP de 20 000 plantas/ha en ambas evaluaciones (20 y 40 DDE). Por otra parte, la inoculación con 100 mL/m⁻² del CM incrementó aún más el IAF en ambos momentos evaluados y en ambas DP (Cuadro 1). Los incrementos significativos en la DP de 20 000 plantas/ha fueron de

19 % y 10 % a los 20 DDE y de 17 % y 9 % a los 40 DDE en comparación con los demás tratamientos de CM estudiados (Cuadro 1). En la DP de 40 000 plantas/ha, el tratamiento con 100 mL m⁻² del CM alcanzó mayores IAF, con incrementos respectivos de 23 % y 11 % a los 20 DDE y de 17 % y 11 % a los 40 DDE en relación con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² del CM (Cuadro 1).

El contenido de clorofila (CC) a los 20 y 40 DDE exhibió interacción significativa entre los factores DP y CM (Figura 2). La DP de 20 000 plantas/ha mostró ligera superioridad en el CC en relación con la DP de 40 000 plantas/ha (Figura 2). La inoculación con 100 mL m⁻² del CM a los 20 DDE aumentó significativamente en el CC en 12 % y 8 % en la DP de 20 000 plantas/ha y en 11 % y 8 % en la DP de 40 000 plantas/ha comparado con los tratamientos sin CM y 100 mL m⁻² del CM, respectivamente (Figura 2A). A los 40 DDE, el mejor tratamiento fue la inoculación con 100 mL m⁻² del CM, con aumentos significativos de 19 % y 10 % en la DP de 20 000 plantas/ha y en la DP de 40 000 plantas/ha de 11 % y 8 %, respectivamente, en comparación con los otros tratamientos de CM (Figura 2B).

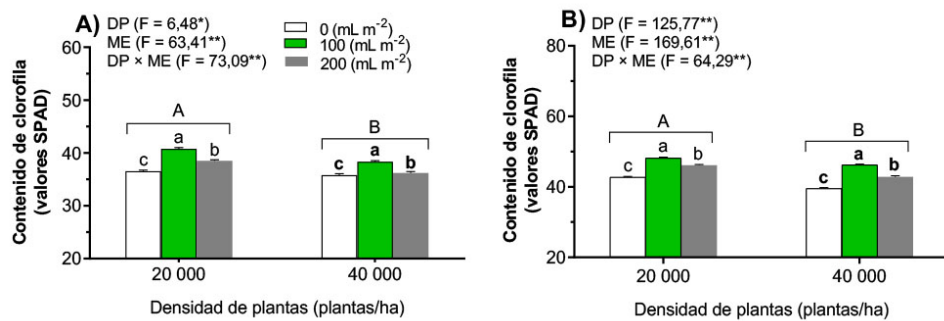


Figura 2. Valores promedios del contenido de clorofila observados en las plantas de girasol (variedad Caburé – 15) a los 20 días después de la emergencia (DDE A) y a los 40 DDE B) en función de las dos densidades de plantas (20 000 y 40 000 plantas/ha) y las tres concentraciones del consorcio microbiano (CM; 0, 100 y 200 mL m⁻²). Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Letras diferentes entre grupos indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). DP × CM: interacción DP - CM; * y **: indican que los valores F son significativos en los niveles de probabilidad de 0,05 y 0,01, respectivamente.

Figure 2. Average values of chlorophyll content observed in sunflower plants (variety Caburé – 15) at 20 days post-emergence (DAE) and B) chlorophyll content at 40 DAE in function of two plant densities (DP; 20,000 and 40,000 plants/ha) and three microbial consortium concentrations (CM; 0, 100, and 200 mL m⁻²). Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Different letters among groups indicate significant differences, according to Tukey's test ($p < 0.05$). DP × CM interaction; *, **: indicates that F values are significance at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

El diámetro del capítulo (DC) exhibió interacción significativa entre los factores DP y ME (Cuadro 2). Resultados significativamente superiores en el DC fueron alcanzados en la DP de 20 000 plantas/ha en comparación con la DP de 40 000 plantas/ha en todos los tratamientos con el CM (Cuadro 2). El DC mostró los mejores resultados en el tratamiento de 100 mL m⁻² del CM en ambas DP (20 000 y 40 000 plantas/ha), con aumentos en 45 % y 15 % en la DP de 20 000 plantas/ha comparados con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM, respectivamente; aunque la inoculación con 200 mL m⁻² de CM incrementó el DC en 26 % respecto al tratamiento sin CM (Cuadro 2). Efectos similares fueron alcanzados en la DP de 20 000 plantas/ha con la inoculación del CM (100 mL m⁻²), que incrementó el DC en 47 % y 24 % comparado con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM, respectivamente; pero este último tratamiento fue superior en 18 % en relación con el tratamiento sin CM (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores promedios del diámetro del capítulo observado en las plantas de girasol (variedad Caburé – 15) en la cosecha en función de dos densidades de plantas (DP; 20 000 y 40 000 plantas/ha) y tres tratamientos del consorcio microbiano (CM; 0, 100 y 200 mL m⁻²), durante 110 días de período experimental. Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024..

Table 2. Average values of head diameter of sunflower plants (variety Caburé – 15) observed at harvest in function of two plant densities (DP; 20,000 and 40,000 plants/ha) and three microbial consortium treatments (CM; 0, 100, and 200 mL m⁻²), during 110-days of experimental period. Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

DP (plantas/ha)	CM (mL m ⁻²)	Diámetro del capítulo (cm)	
20 000	0	22,96 ± 0,90 c	A
	100	33,35 ± 0,66 a	
	200	28,95 ± 0,83 b	
40 000	0	21,05 ± 0,68 c	B
	100	30,90 ± 0,54 a	
	200	22,85 ± 0,61 b	
Prueba F	DP	6838,23**	
	CM	19542,01**	
	DP × CM	974,07**	

DP: densidad de plantas; CM: consorcio microbiano; DP × CM: interacción entre DP y CM. Letras diferentes entre grupos indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). **: indica que los valores F son significativos en el nivel de probabilidad de 0,01. / DP: plant density; CM: microbial consortium; DP × CM: DP – CM interaction. Different letters among groups indicate significant differences, according to Tukey's test ($p < 0,05$). **: indicate that F value significance at 0.01 probability level.

La producción de semillas de girasol exhibió interacción significativa ($p < 0,01$) entre los factores DP y ME en las variables SLL, SVC, STC y PSLL en la cosecha del girasol (Cuadro 3). Las DP mostraron efectos significativos en la producción de STC, SLL y SVC, con destaque para la DP de 20 000 plantas/ha, que en todos los tratamientos del CM mostró promedios significativamente superiores en relación con la DP de 40 000 plantas/ha (Cuadro 3).

En ambas DP (20 000 y 40 000 plantas/ha), la inoculación con el CM mostró efectos significativos en la producción de semillas por capítulo; en particular, la concentración de 100 mL m⁻² de CM alcanzó mayores promedios de STC, SLL y PSLL y decreció significativamente las SVC en comparación con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM. Además, la concentración de 200 mL m⁻² CM mostró efectos significativos superiores en las STC, SLL y PSLL, y redujo la producción de SVC en comparación con el tratamiento sin CM (Cuadro 3).

La masa de las semillas por capítulo (MSC) y el rendimiento (RD) de las plantas de girasol mostraron interacción significativa entre los factores DP y ME (Figura 3). La MSC alcanzó mayores medias en la DP de 40 000 plantas/ha en todos los tratamientos con el CM y con diferencias significativas respecto a la DP de 20 000 plantas/ha (Figura 3A). La MSC exhibió incrementos significativos en el tratamiento con 100 mL m⁻² de CM, con incrementos en 22 % y 12 % en la DP de 20 000 plantas/ha y 16 % y 10 % en la DP de 40 000 plantas/ha en comparación con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM, respectivamente; sin embargo, la concentración de 200 mL m⁻² de CM incrementó significativamente la MSC en ambas DP respecto al tratamiento sin CM (Figura 3A).

La DP de 40 000 plantas/ha exhibió mayores RD en todos los tratamientos con el CM en relación con la DP de 20 000 plantas/ha (Figura 3B). El RD fue significativamente incrementado con el tratamiento de 100 mL m⁻² de CM, con incrementos significativos de 22 % y 12 % en la DP de 20 000 plantas/ha y de 29 % y 13 % en la DP de 40 000 plantas/ha en comparación con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM, respectivamente. El

Cuadro 3. Valores promedios de la producción de semillas por capítulo (STC), semillas llenas (SLL), semillas vacías (SV) y porcentaje de semillas llenas por capítulo (PSLL) observados en las plantas de girasol (variedad Caburé – 15) en función de dos densidades de plantas (DP; 20 000 y 40 000 plantas/ha) y tres tratamientos del consorcio microbiano (CM; 0, 100 y 200 mL m⁻²), durante 110 días de periodo experimental. Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Table 3. Average values of production of seeds per head (TSC), full seeds (SLL), empty seeds (SV) and percentage of full seeds per head (PSLL) observed in sunflower plants (variety Caburé – 15) in function of two plant densities (DP; 20,000 and 40,000 plants/ha) and three microbial consortium treatments (CM; 0, 100, and 200 mL m⁻²), during 110 days of experimental period. Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

DP (plantas/ha)	CM (mL m ⁻²)	Producción de semillas				PSLL	
		STC	SLL	SVC			
20 000	0	2411,0 c	A	1633,0 c	A	778,0 a	A
	100	2621,0 a		2309,0 a		312,0 b	
	200	2546,0 b		2078,0 b		468,0 c	
40 000	0	2017,0 c	B	1557,0 b	B	460,0 b	B
	100	2249,0 a		2132,0 a		117,0 c	
	200	2172,0 b		1922,0 b		250,0 a	
Prueba F	DP	1206,37**		108,03**		6676,08**	
	ME	4784,09**		1010,73**		4058,40**	
	DP × ME	6935,35**		1850,00**		3652,66**	

DP: densidad de plantas; CM: consorcio microbiano. Letras diferentes entre grupos indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). **: indica que los valores F son significativos en el nivel de probabilidad de 0,01. / DP: plant density; CM: microbial consortium. Different letters among groups indicate significant differences, according to Tukey's test ($p < 0.05$). *, **: indicates that F values are significance at 0.01 probability levels.

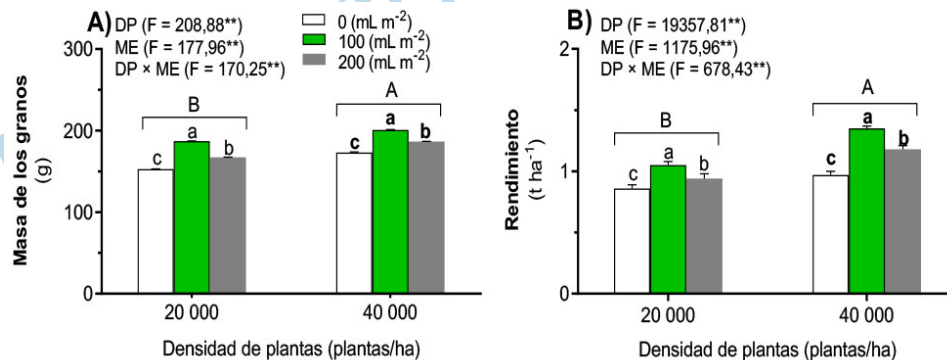


Figura 3. Valores promedios de la masa de las semillas por planta **A)** y rendimiento **y el B)** observados en las plantas de girasol (variedad Caburé – 15) en función de las dos densidades de plantas (DP; 20 000 y 40 000 plantas/ha) y las tres concentraciones del consorcio microbiano (CM; 0, 100 y 200 mL m⁻²), durante 110 días de periodo experimental. Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Letras diferentes entre grupos indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). **: Valores F son significativos en el nivel de probabilidad de 0,01.

Figure 3. Average values of the seed mass per plant **A)** and yield **B)** observed in sunflower plants (variety Caburé – 15) in function of two plant densities (DP; 20,000 and 40,000 plants/ha) and three microbial consortium concentrations (CM; 0, 100 and 200 mL m⁻²), during 110 days of experimental period. Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS), Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Different letters among groups indicate significant differences, according to Tukey's test ($p < 0.05$). **: F values significance at 0.01 probability levels.

tratamiento con 200 mL m⁻² de CM mostró incrementos en el RD de 12 % en la DP de 20 000 plantas/ha y 18 % en la DP de 40 000 plantas/ha, respectivamente, comparado con el tratamiento sin CM (Figura 3B).

Discusión

Las densidades de plantas desempeñan un rol fundamental en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, incluido el girasol. Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que las plantas de girasol mostraron una mayor AP en la densidad de 40 000 plantas/ha, lo que pudo estar influenciado porque la intercepción de la luz máxima ocurre más temprano (Simón et al., 2023). Además, las mayores AP pueden estar influenciadas por la competencia intraespecífica, agua y nutrientes (Li et al., 2024; Minh et al., 2021). También, la AP es regulada por la uniformidad espacial y la simetría de las plantas, donde las plantas con menor espacio tienden a crecer más para destacarse entre todas (Yanes Simón et al., 2023).

Por otra parte, la adición del CM promovió la AP en ambas DP evaluadas. Estos resultados pueden deberse a la incorporación de nutrientes esenciales como N, P, K y Ca que favorecen diferentes procesos biológicos y celulares, que originan una mejor estructura de las plantas (Calero Hurtado et al., 2020). También, la estimulación del crecimiento por los CM puede estar asociada a una mayor disponibilidad de nutrientes y la fijación atmosférica del nitrógeno por los diversos microorganismos (Calero-Hurtado et al., 2023; Khademian et al., 2019). Además, los CM pueden promover el crecimiento vegetal porque producen fitohormonas como auxina, citoquinina y giberelina que afectan el crecimiento vegetal a través de la modulación de los niveles hormonales endógenos en asociación con una planta (Santoyo et al., 2021). De esta misma manera, fue reportado que los CM pueden secretar la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminasa, que mejora el crecimiento vegetal (Gamboa-Angulo et al., 2020).

Este estudio evalúa, por primera vez, los efectos de la interacción entre la DP y un CM en el crecimiento del girasol. Los mayores efectos en la AP de la planta fueron expresados en el tratamiento combinado con la densidad de 40 000 plantas/ha y 100 mL⁻². En este contexto, los hallazgos obtenidos en esta investigación, reportan por primera vez los efectos sinérgicos entre estos factores en la promoción del crecimiento del girasol. Estos efectos positivos probablemente ocurrieron porque se logró una mayor simetría de las plantas, lo que conduce a una mayor AP porque realizan un mejor aprovechamiento de la luz, agua y nutrientes (Pérez Díaz et al., 2024; Ríos-Hilario et al., 2023).

Las DP influyen directamente en el área foliar (AF) de las plantas. Los hallazgos de este estudio mostraron que el aumento de la DP (40 000 plantas/ha) disminuyó el AF, lo que se debe a que cada planta ocupa menos espacio debido a la existencia de un mayor número de individuos en la misma superficie (Gómez Ariza et al., 2022; Pérez Díaz et al., 2024). Estos hechos probablemente ocurren porque cada planta, por lo general, tiene mayor AF y la competencia por recursos reduce el crecimiento individual (Criollo & García, 2011). Un patrón similar (incremento del AF) se observó previamente en diversos estudios en girasol (Leiva Rodríguez et al., 2018; Seibert et al., 2024). Estudios similares descubrieron que el crecimiento vegetativo del girasol se incrementa con la DP, lo que estimula el desarrollo del IAF y el cierre temprano del dosel, y por tanto se mejora la producción biomasa (Andriienko et al., 2020).

Por otra parte, la inoculación a 100 mL m⁻² del CM exhibió incrementos en el AF y IAF de las plantas de girasol en condiciones de déficit hídrico. Estos efectos beneficiosos de los CM en el incremento del AF e IAF de las plantas pueden deberse a que los microorganismos como *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp., y *Saccharomyces cerevisiae* ayudan a solubilizar nutrientes minerales y producir sustancias (hormonas) que promueven y favorecen el desarrollo de las plantas (Calero-Hurtado et al., 2023; Singh et al., 2020). Investigaciones anteriores mostraron importantes propiedades de promoción del crecimiento de las plantas como solubilización de fosfato, fijación de nitrógeno, producción de ácido indol acético y ACC desaminasa, mecanismos involucrados en la mejora de la absorción de nutrientes, el crecimiento (Aher et al., 2022; Etesami, 2020).

La DP de 40 000 plantas/ha mostró aumentos significativos en el IAF. Estos efectos pueden explicarse por la existencia de más individuos por superficie (Soleymani, 2017). En este contexto, observaciones similares fueron reportadas recientemente en plantas de girasol (Calero Hurtado et al., 2025; Rezaizad et al., 2022). Estos hallazgos son consistentes con reportes recientes en el girasol con el aumento de las DP (Ibrahim et al., 2023; Raj et al., 2024). Además, la inoculación de los CM influye en la comunidad rizobacteriana autóctona y puede mejorar la disponibilidad y eficiencia de la absorción de nutrientes, lo que promueve el crecimiento de las plantas (Santoyo et al., 2021; Shang & Liu, 2021).

Investigaciones han señalado que en altas DP puede haber competencia por la luz solar; las plantas reciben menos luz y poseen un menor CC debido a la reducción en la capacidad fotosintética (Dai et al., 2022; Zheng et al., 2021). En este sentido, los CM pueden fijar el nitrógeno atmosférico y proporcionar una fuente adicional de N a las plantas, lo que mejora la síntesis de clorofila y, en consecuencia, la fotosíntesis (Kapadia et al., 2021; Santoyo et al., 2021). Además, los CM contienen bacterias que solubilizan el fosfato, aumentan la disponibilidad de fósforo en el suelo y mejoran la producción de clorofila y otros componentes de la fotosíntesis (Behera et al., 2021; Devi et al., 2022).

Los resultados de esta investigación revelaron que el DC fue mayor en la menor DP. Esto podría explicarse por la disminución en la competencia por luz, agua y nutrientes, debido a una menor cantidad de plantas por superficie y la potencial disminución (Raj et al., 2024). Observaciones similares fueron reportadas en plantas de girasol (Leiva Rodríguez et al., 2018; Seibert et al., 2024). Por otra parte, la adición del CM aumentó el DC en ambas DP. Estos efectos pueden explicarse porque los CM mejoran la producción de fitohormonas, aumentan la disponibilidad de nutrientes y controlan plagas, lo que puede resultar en frutos más grandes y de mejor calidad (Gamboa-Angulo et al., 2020).

La producción de semillas por planta fue superior en la menor DP; sin embargo, la mayor DP aumentó la producción de semillas totales por área, debido a la mayor cantidad de plantas por superficie. Los efectos beneficiosos de las DP en el aumento de la producción de semillas fueron comprobados anteriormente por Leiva Rodríguez et al. (2018) y Rezaizad et al. (2022), quienes aumentaron este indicador con el incremento de la densidad de siembra. Además, estudios recientes indicaron que las menores DP aumentan la cantidad de semillas por planta, pero se reduce la cuantía por superficie, como resultado del menor número de individuos por área (Ibrahim et al., 2023; Raj et al., 2024). Otra posible explicación es que la DP se correlaciona negativamente con la producción de semillas por planta y positivamente con la producción de semillas por área sembrada (Carciochi et al., 2019; Raj et al., 2024).

Por otra parte, la aplicación del CM logró incrementar la producción de semillas, especialmente en la concentración de 100 mL m⁻². En este sentido, estudios recientes reportaron que los CM impactan significativamente la producción de semillas porque aumentan la disponibilidad y absorción de nutrientes y fitohormonas, lo que resulta en un crecimiento más robusto de las plantas (Carabeo et al., 2022; Ibrahim et al., 2023). En este sentido, el CM mejoró la producción de SLL y su porcentaje. Estos hechos pueden fundamentarse porque en la composición de este CM existen nutrientes como N, P, K y Ca que intervienen en procesos de crecimiento y desarrollo del girasol (Calero Hurtado et al., 2020). Efectos positivos con la inoculación de este CM fueron recientemente informados en la producción de semillas de girasol (Calero Hurtado et al., 2025).

Resultados similares en el aumento de producción de semillas con la aplicación de este CM fueron reportados en plantas de ajonjolí (Pérez Díaz et al., 2024), arroz (Calero Hurtado et al., 2020), pepino (Calero-Hurtado et al., 2023), habichuela (Calero et al., 2020) y frijol (Calero-Hurtado et al., 2022, 2023; Granda-Mora et al., 2024), pero hasta la fecha se desconocen los efectos sobre el girasol. Por lo tanto, los resultados de este estudio evidencian por primera vez los efectos benéficos entre la DP y el CM en el incremento de la producción de semilla del girasol, y pueden considerarse como una alternativa amigable para la producción de girasol en épocas poco lluviosas.

El rendimiento del girasol fue modificado por las DP, especialmente la DP de 40 000 plantas/ha. Efectos similares fueron informados recientemente en este cultivo (Rezaizad et al., 2022). Estos incrementos en la productividad del girasol pudieron estar causados por los efectos benéficos mostrados en los parámetros del crecimiento AP, AF, IAF, CC, y los productivos DC, STC, SLL, SVC, PSL y MSC. Estos efectos de las DP en el incremento del RD fueron observados anteriormente en el girasol (Mladenović et al., 2020). Una posible explicación para estos hechos puede ser que las DP adecuadas disminuyen el crecimiento de las malezas, tienen un mejor aprovechamiento de la luz y desarrollan un adecuado sistema radicular, lo que favorece directamente la absorción de agua y nutrientes (Simón et al., 2023).

El rendimiento (2536 kg ha^{-1}) alcanzado en la mayor densidad (40 000 plantas/ha) comparada con la media mundial ($\sim 2000 \text{ kg ha}^{-1}$) es relativamente mayor (Seibert et al., 2024). Además, las plantas que presentan crecimiento simétrico tienen la capacidad de compensación del rendimiento por el efecto de menor cubrimiento de la superficie del suelo, lo que frena en gran medida el desarrollo de las malezas (Echarte et al., 2020).

La aplicación del CM mejoró el rendimiento del girasol y su combinación con la DP de 40 000 plantas/ha favoreció aún más el rendimiento. Estos efectos positivos en el RD con la combinación de la DP y la aplicación del CM pueden corresponderse porque la incorporación de múltiples microorganismos mejora la disponibilidad de los nutrientes, fitohormonas y el biocontrol de enfermedades (Carabeo et al., 2022). Al mismo tiempo, estos resultados son consistentes con los hallazgos reportados anteriormente en plantas de arroz (Calero et al., 2020). Estos efectos positivos de la combinación entre las densidades de plantas y el CM en el cultivo del girasol constituyen los primeros resultados científicos, que están en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, ONU), y por lo tanto es una alternativa viable y amigable para incrementar el crecimiento y rendimiento de las plantas de girasol en condiciones de baja pluviosidad.

Conclusiones

Los resultados de este estudio demostraron que la densidad de plantas y la aplicación del consorcio microbiano fueron factores determinantes en el crecimiento y rendimiento del girasol. La densidad de 40 000 plantas/ha favoreció parámetros importantes como la altura de la planta, el índice de área foliar, el porcentaje de semillas llenas y el rendimiento, mientras que la densidad de 20 000 plantas/ha optimizó el área foliar, el contenido de clorofila, el diámetro del capítulo y el número de semillas por capítulo. Adicionalmente, la incorporación del consorcio microbiano a una concentración de 100 mL m^{-2} demostró un efecto estimulante significativo en el crecimiento y rendimiento del girasol, independientemente de la densidad de plantas. Estos hallazgos sugieren que la interacción entre la densidad de 40 000 plantas/ha y la dosificación de 100 mL m^{-2} del CM, puede considerarse una estrategia local, viable, importante y amigable para optimizar la producción sostenible del girasol en condiciones de déficit hídrico.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del proyecto “Creación de capacidades para la producción escalonada de oleaginosas y aceites comestibles sobre bases agroecológicas”, que recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN211LH012-36.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Aher, S. B., Lakaria, B. L., Kaleshananda, S., & Singh, A. B. (2022). Concentration and Uptake of Micronutrients (Fe, Zn, Cu and Mn) in Soybean and Wheat under Organic, Biodynamic and Inorganic Nutrient Management in Semi-arid Tropical Conditions of Central India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53, 2229-2244. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2071434>
- Andrade, J. F., Ermacora, M., De Grazia, J., Rodríguez, H., Mc Grech, E., & Satorre, E. H. (2023). Soybean seed yield and protein response to crop rotation and fertilization strategies in previous seasons. *European Journal of Agronomy*, 149, Article 126915. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126915>
- Andriienko, O., Vasylykova, K., Andriienko, A., Vasylykovskyi, O., Mostipan, M., & Salo, L. (2020). Response of sunflower hybrids to crop density in the steppe of Ukraine. *Helia*, 43, 99-111. <https://doi.org/10.1515/helia-2020-0011>
- Bartucca, M. L., Cerri, M., Del Buono, D., & Forni, C. (2022). Use of Biostimulants as a New Approach for the Improvement of Phytoremediation Performance—A Review. *Plants*, 11(15), Article 1946. <https://doi.org/10.3390/plants11151946>
- Behera, B., Das, T. K., Raj, R., Ghosh, S., Raza, Md. B., & Sen, S. (2021). Microbial Consortia for Sustaining Productivity of Non-legume Crops: Prospects and Challenges. *Agricultural Research*, 10, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00482-3>
- Calero Hurtado, A., Olivera Viciado, D., Pérez Díaz, Y., González-Pardo Hurtado, Y., Yáñez Simón, L. A., & Peña Calzada, K. (2020). Management planting densities and application of efficient microorganisms that increase rice productivity. *Idesia (Arica)*, 38, 109-117. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000200109>
- Calero Hurtado, A., Peña Calzada, K., Fasoli, J. V. B., Jiménez, J., & Sánchez López, L. (2025). Synergic effects of the microbial consortium and amino acid-based growth promoter in sunflower productivity under water-deficit conditions. *Water*, 17, Article 1365. <https://doi.org/10.3390/w17091365>
- Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Hernández-González, L., García-Guardarrama, Y., Pacheco-Méndez, S. M., Rodríguez-Pérez, Y., & Castro-Lizaso, I. (2023). Coaplicación entre el consorcio Microorganismos eficientes y Biobras-16® aumentan el crecimiento y la productividad del frijol común. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 12, 64-79. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v12n2.107055>
- Carabeo, A., Jiménez, J., Gil, Z., Henderson, D., Adams, P., & Calero-Hurtado, A. (2022). Taxonomic identification and diversity of effective soil microorganisms: Towards a better understanding of this microbiome. *Agronomía Colombiana*, 40, 278-292. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n2.101378>
- Carciochi, W. D., Schwalbert, R., Andrade, F. H., Corassa, G. M., Carter, P., Gaspar, A. P., Schmidt, J., & Ciampitti, I. A. (2019). Soybean seed yield response to plant density by yield environment in North America. *Agronomy Journal*, 111, 1923-1932. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0635>
- Castillo, P., Escalante, M., Gallardo, M., Alemano, S., & Abdala, G. (2013). Effects of bacterial single inoculation and co-inoculation on growth and phytohormone production of sunflower seedlings under water stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 2299-2309. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1267-0>
- Criollo, H., & García, J. (2011). Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de plantas de rábano (*Raphanus sativus* L.) bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 3, 210-222. <https://doi.org/10.17584/rch.2009v3i2.1214>

- Dai, Y., Fan, J., Liao, Z., Zhang, C., Yu, J., Feng, H., Zhang, F., & Li, Z. (2022). Supplemental irrigation and modified plant density improved photosynthesis, grain yield and water productivity of winter wheat under ridge-furrow mulching. *Agricultural Water Management*, 274, Article 107985. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107985>
- de la Vega, A. J., & Hall, A. J. (2002). Effects of planting date, genotype, and their interactions on sunflower yield. *Crop Science*, 42, 1191-1201. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1191>
- Devi, R., Kaur, T., Kour, D., & Yadav, A. N. (2022). Microbial consortium of mineral solubilizing and nitrogen fixing bacteria for plant growth promotion of amaranth (*Amaranthus hypochondrius* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 43, Article 102404. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102404>
- Díaz, Y. P., Hurtado, A. C., Calzada, K. P., Díaz, J. L. G., & González, V. R. (2024). Plant densities and foliar application of amino acids increasing sesame yield. *Temas Agrarios*, 29, 100–112. <https://doi.org/10.21897/w2sd1542>
- Etesami, H. (2020). Enhanced Phosphorus Fertilizer Use Efficiency with Microorganisms. En R. S. Meena (Ed.), *Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production* (pp. 215-245). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_8
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n. d.). *FAOSTAT Statistical Database*. Recuperado marzo 23, 2025 de <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Friedman, S. P. (2024). Relationships between combined and individual field crops' biomass and planting density. *Field Crops Research*, 305, Article 109188. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109188>
- Gamboa-Angulo, J., Ruíz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V. M., Medina-Dzul, K., Gamboa-Angulo, J., Ruíz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V. M., & Medina-Dzul, K. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38, 817-826. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- Ghadirnezhad-Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi-Ghasemkheili, F., Amiri, E., & Pessarakli, M. (2023). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—a review. *Journal of Plant Nutrition*, 46, 2198-2230. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105720>
- Ghaffari, M., Gholizadeh, A., Rauf, S., & Shariati, F. (2023). Drought-stress induced changes of fatty acid composition affecting sunflower grain yield and oil quality. *Food Science & Nutrition*, 11, 7718-7731. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3690>
- Gómez Ariza, M., Ordóñez Fernández, R., Sánchez Ruiz, F., & Gómez Ariza, M. R. (2022). Girasol en siembra directa: Estrategias de fertilización con microcomplejos y bioestimulantes. *Agricultura de Conservación*, 50, 8-14. https://agriculturadeconservacion.org/wp-content/uploads/2023/12/revista50web_baja.pdf
- González, Y. A., Díaz, Y. P., Hurtado, A. C., & Calzada, K. P. (2025). Plant densities and fertilizers improving sustainable peanut production. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 14, 23-38. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v14n1.113747>
- Granda-Mora, K., Correa-Ullauri, C., Collahuazo-Reinoso, Y., & Robles-Carrión, Á. (2024). Inoculantes microbianos comerciales con PGPR sobre variables productivas y económicas de fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 35, 55654-55654. <https://doi.org/10.15517/am.2024.55654>
- Gürsoy, M. (2022). Role of biostimulant priming applications on germination, growth and chlorophyll content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars under salinity stress. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 36, 75-81. <https://dergipark.org.tr/en/pub/selcukjafsci/issue/76375/1275165>

- Hernández-Jiménez, A., Pérez-Jiménez, J. M., Bosch-Infante, D., Speck, N. C., Hernández-Jiménez, A., Pérez-Jiménez, J. M., Bosch-Infante, D., & Speck, N. C. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: Énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40, Artículo a15–e15. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1504/html>
- Hurtado, A. C., Díaz, Y. P., Calzada, K. P., Viciado, D. O., Hernández, J. J., & Pérez, A. C. (2023). Coinoculación de biofertilizantes microbianos en pepino y habichuela y su efecto en el crecimiento y rendimiento. *Temas Agrarios*, 28, 220-232. <https://doi.org/10.21897/bz3pzk58>
- Ibrahim, B. A., Eldey, E. M., Ishag, A. A., & Naim, A. M. E. (2023). Response of sunflower (*Helianthus Annuus* L) to plant spacing. *Innovation in Science and Technology*, 2(2), 32-37. <https://www.paradigmexpress.org/ist/article/view/541>
- International Union of Soil Sciences. (2022). *World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (4th ed.). International Union of Soil Sciences. https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf
- Kapadia, C., Sayyed, R. Z., El Enshasy, H. A., Vaidya, H., Sharma, D., Patel, N., Malek, R. A., Syed, A., Elgorban, A. M., Ahmad, K., & Zuan, A. T. K. (2021). Halotolerant microbial consortia for sustainable mitigation of salinity stress, growth promotion, and mineral uptake in tomato plants and soil nutrient enrichment. *Sustainability*, 13, Article 8369. <https://doi.org/10.3390/su13158369>
- Kemp, C. (1960). Methods of estimating the leaf area of grasses from linear measurements. *Annals of Botany*, 24, 491-499. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083723>
- Khademian, R., Asghari, B., Sedaghati, B., & Yaghoubian, Y. (2019). Plant beneficial rhizospheric microorganisms (PBRMs) mitigate deleterious effects of salinity in sesame (*Sesamum indicum* L.): Physio-biochemical properties, fatty acids composition and secondary metabolites content. *Industrial Crops and Products*, 136, 129-139. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.002>
- Li, L., Li, Q., Liu, Y., Xue, H., Zhang, X., Wang, B., Pan, X., Zhang, Z., & Zhang, B. (2024). Diversity, Variance, and Stability of Root Phenols of Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Physiologia Plantarum*, 176, Article e14207. <https://doi.org/10.1111/ppl.14207>
- Mathur, P., & Roy, S. (2021). Insights into the plant responses to drought and decoding the potential of root associated microbiome for inducing drought tolerance. *Physiologia Plantarum*, 172, 1016-1029. <https://doi.org/10.1111/ppl.13338>
- Minh, T. X., Thanh, N. C., Thin, T. H., Tieng, N. T., & Giang, N. T. H. (2021). Effects of Plant Density and Row Spacing on Yield and Yield Components of Peanut (*Arachis hypogaea* L.) on the Coastal Sandy Land Area in Nghe An Province, Vietnam. *Indian Journal of Agricultural Research*, 55, 468-472. <https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/A-614>
- Ministerio de Agricultura. (2020). *Cultivos y técnicas para su producción* (1^a ed.). Ministerio de Agricultura.
- Mladenović, E., Cvejić, S., Jocić, S., Ćuk, N., Čukanović, J., Jocković, M., & Marjanović Jeromela, A. (2020). Effect of plant density on stem and flower quality of single-stem ornamental sunflower genotypes. *Horticultural Science*, 47, 45-52. <https://doi.org/10.17221/10/2019-HORTSCI>
- Outhwaite, C. L., McCann, P., & Newbold, T. (2022). Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature*, 605, 97-102. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x>
- Raj, D., Kandhro, M. N., Buriro, M., Jamro, G. M., & Channa, S. A. (2024). Effect of agronomic amendments on growth and yield of sunflower. *Pakistan Journal of Biotechnology*, 21, 120-134. <https://doi.org/10.34016/pjbt.2024.21.01.844>

- Rezaizad, A., Arman, S., Sadatasytan, K., & Mansourifar, S. (2022). Effect of plant density and drought stress on important agronomic characteristics of confectionery sunflower. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15, 991-1003. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.4177.1985>
- Ríos-Hilario, J. J., Maldonado-Peralta, M. de los Á., RojasGarcía, A. R., Hernández-Castro, E., Sabino-López, J. E., & Segura-Pacheco, H. R. (2023). Comportamiento productivo del cultivo de soya variedad salcer a diferentes densidades de población y momentos de cosecha. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 46, 3-10. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.3>
- Rodríguez, L. L., Osa, J. G. de la, & Rigo, M. D. (2018). Efecto de diferentes densidades de siembra sobre el rendimiento del cultivo del girasol (*Helianthus annuus* L.), var. Caburé – 15 en suelos arroceros. *InfoCiencia*, 22, 63-72. <http://www.infocienciass.cu/index.php/infociencia/article/view/419>
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., Santos-Villalobos, S. de los, Orozco-Mosqueda, M. del C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11, Article 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020219>
- Seibert, M. L., Da Rosa, G. M., Volpi, G. B., Trombetta, L. J., Turchetto, R., & Mahnke, M. R. (2024). Sunflower genotype performance in different spacing in the northeast for Rio Grande do Sul. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 17(1), 103-120. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-007>
- Shang, J., & Liu, B. (2021). Application of a microbial consortium improves the growth of *Camellia sinensis* and influences the indigenous rhizosphere bacterial communities. *Journal of Applied Microbiology*, 130(6), 2029-2040. <https://doi.org/10.1111/jam.14927>
- Simón, L. A. Y., Hurtado, A. C., & de Carvalho, L. B. (2023). Influencia de diferentes densidades de plantas en la productividad de la soya. *InfoCiencia*, 27, 32-43. <http://www.infocienciass.cu/index.php/infociencia/article/view/1281>
- Simón, L. A. Y., Hurtado, A. C., Pérez, W. B. V., & Carvalho, L. B. de. (2023). Influencia de altas densidades de plantas en la productividad de la soya. *Universidad & Ciencia*, 12, 155-166. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11528387>
- Singh, A., Kumari, R., Yadav, A. N., Mishra, S., Sachan, A., & Sachan, S. G. (2020). Tiny microbes, big yields: Microorganisms for enhancing food crop production for sustainable development. In A. A. Rastegari, A. N. Yadav, & N. Yadav (Eds.), *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 1-15). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820526-6.00001-4>
- Soleymani, A. (2017). Light response of sunflower and canola as affected by plant density, plant genotype and N fertilization. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 173, 580-588. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.06.038>
- Zapletalová, A., Ernst, D., & Černý, I. (2023). Effect of growing factors on production and fatty acid composition of sunflower schenes. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 26, 305-313. <http://acta.fapz.uniag.sk/journal/article/view/266>
- Zheng, B., Zhang, X., Wang, Q., Li, W., Huang, M., Zhou, Q., Cai, J., Wang, X., Cao, W., Dai, T., & Jiang, D. (2021). Increasing plant density improves grain yield, protein quality and nitrogen agronomic efficiency of soft wheat cultivars with reduced nitrogen rate. *Field Crops Research*, 267, Article 108145. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108145>