



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”.

¹ Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, 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 (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0001-6536-2908>).

³ Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, 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 el rendimiento del girasol en condiciones de déficit hídrico. **Materiales y métodos.** El estudio se desarrolló entre enero y mayo de 2024 en Sancti Spíritus, Cuba. 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 de CM (0, 100 y 200 mL m⁻²). **Resultados.** 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. 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.** La combinación entre la densidad de 40 000 plantas/ha y la inoculación con 100 mL m⁻² de 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.



Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

Abstract

Introduction. The use of microbial consortia (CM) combined with adequate plant densities (DP) can be a viable and friendly alternative to increase sustainable sunflower (*Helianthus annuus* L.) 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.** The study was conducted between January and May 2024 in Sancti Spíritus, Cuba. Under field conditions, an experiment was established using a split-plot arrangement in a randomized block design with three replications. The main plots consisted of two DP (20,000 and 40,000 plants/ha), and the secondary plots of three CM concentrations (0, 100, and 200 mL m⁻²). **Results.** Individually, DP and CM directly influenced sunflower growth and yield. The DP of 40,000 plants/ha favored plant height, leaf area index, percent of full seeds, seed mass per head, and yield. The DP of 20,000 plants/ha increased leaf area, chlorophyll content, head diameter, and total and full seed per head. 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 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*, beneficial microorganisms, yield.

Introducción

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

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, inciden en el rendimiento del cultivo de girasol (Outhwaite et al., 2022). Aunque esta especie tolera periodos cortos de sequía, los periodos extensos pueden reducir su crecimiento y rendimiento (Rezaizad et al., 2022). Las plantas que crecen en periodos prolongados de déficit hídrico pueden manifestar diversos cambios moleculares, bioquímicos, fisiológicos y estructurales que afectan su desarrollo (Calero Hurtado et al., 2025).

El estrés hídrico limita la expansión y la división celular, lo que reduce 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). Para disminuir la pérdida de agua, los estomas se cierran, lo cual baja la tasa fotosintética (Rezaizad et al., 2022). En condiciones severas, el sistema radicular se ve afectado y con ello la estructura general de la planta es más pequeña (Mathur & Roy, 2021). Así, el estrés hídrico durante la floración y el llenado de granos reduce el número y peso de achenios, y puede alterar el perfil de ácidos grasos, perjudicando 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). Su manejo puede depender de variables como la fertilidad del suelo, la humedad (suelo y aire), el porcentaje de germinación y las características agronómicas de los cultivares (Yanes Simón, Calero Hurtado & Bianco de Carvalho, 2023). El patrón espacial del cultivo es otro factor agronómico que puede afectar el rendimiento y la competitividad frente a las malezas (Andrade et al., 2023).

La densidad también resulta relevante para aumentar el peso de las semillas, el tamaño del capítulo y el rendimiento (Rezaizad et al., 2022). En densidades bajas, las plantas desarrollan tallos más gruesos y mayor área foliar por la menor competencia por luz y nutrientes, mientras que las altas poblaciones pueden provocar un crecimiento alargado y débil, reducción del diámetro del tallo y menor área foliar por planta a causa de la sombra mutua (Friedman, 2024). Las bajas densidades producen rendimientos inferiores debido a un menor número de plantas por superficie; sin embargo, el rendimiento también 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 esto depende de las condiciones ambientales y el manejo agronómico.

El uso de los bioestimulantes en la agricultura moderna ofrece múltiples beneficios porque aumentan la tolerancia a los estreses abióticos, mejoran la asimilación de los nutrientes y elevan el rendimiento de los cultivos, incluido el girasol (Bartucca et al., 2022). Algunos de estos productos contienen un solo microorganismo o varios, denominados en este último caso *consorcios microbianos* (CM) (Calero Hurtado et al., 2023; Devi et al., 2022). La aplicación de los CM representa una estrategia más robusta y eficaz que el uso individual de un microorganismo, ya que aprovecha la complejidad y resiliencia propias de las comunidades microbianas para lograr beneficios más amplios y sostenibles.

La aplicación de bioestimulantes en plantas de girasol ha mostrado efectos positivos en la germinación, el desarrollo vegetativo, la floración y el rendimiento de las semillas (Gürsoy, 2022). El uso de CM promueve el crecimiento y el rendimiento del cultivo debido a la producción de fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas (Castillo et al., 2013). Estos CM también aumentan la disponibilidad de nutrientes y la fijación del nitrógeno (Santoyo et al., 2021). Los efectos benéficos de un CM a base de *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus bulgaricus* y *Saccharomyces cerevisiae* se han reportado recientemente en oleaginosas como ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) (Pérez Díaz et al., 2024), maní (*Arachis hypogaea* L.) (González et al., 2025) y girasol (*Helianthus annuus* L.) (Calero Hurtado et al., 2025).

El manejo combinado de la densidad de plantas y el suministro de un consorcio microbiano puede ser una estrategia viable para minimizar el impacto del estrés hídrico en el girasol. Por lo tanto, 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 el rendimiento del girasol en condiciones de déficit hídrico.

Materiales y métodos

El experimento se desarrolló entre enero y mayo de 2024 en áreas de una finca perteneciente a la Empresa Agroindustrial Azucarera “Melanio Hernández” (22°00'56" N, 79°24'49" O), ubicada en Tuinucú, Sancti Spíritus, Cuba, a una altitud de 51 m s. n. m. El tipo de suelo predominante es Pardo Sialítico (Hernández-Jiménez et al., 2019), Cambisol (International Union of Soil Sciences, 2022). Durante la investigación, las variables climatológicas fueron registradas por la Estación Provincial de Sancti Spíritus: temperatura media diaria de 24,25 °C, humedad relativa media diaria de 74 % y precipitación acumulada de 18,34 mm.

Las semillas de girasol, variedad ‘Caburé-15’, fueron obtenidas en la Empresa Provincial de Semillas, con un 95 % de germinación. El CM fue adquirido gratuitamente en la sucursal de Labiofam de Sancti Spíritus, el cual se comercializa con los siguientes microorganismos: *Bacillus subtilis* B/23-45-10 Nato ($5,4 \times 10^4$ unidades formadoras

de colonias [UFC]/mL), *Lactobacillus bulgaricus* B/103-4-1 ($3,6 \times 10^4$ UFC/mL) y *Saccharomyces cerevisiae* L-25-7-12 ($22,3 \times 10^5$ UFC/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.

La siembra se realizó en época lluviosa a partir del 13 de enero de 2024. Las semillas se depositaron de forma manual, colocando tres en el fondo del surco, a 0,80 m entre hileras y a 0,50 y 0,25 m entre plantas para obtener densidades de 20 000 y 40 000 plantas/ha. Este experimento factorial se planificó en parcelas divididas, con las dos densidades de plantas como tratamientos principales, y las 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 de 16 L, de forma directa en el fondo del surco después de la siembra, con una humedad óptima para los microorganismos y la germinación de las semillas. Seguidamente, se cubrieron las semillas y el CM.

Las labores del cultivo, tales como preparación de suelo, siembra y limpieza, se realizaron de acuerdo con la guía para el cultivo del Ministerio de Agricultura de Cuba (2020), con modificaciones en la fertilización (sin adición de fertilizantes químicos ni orgánicos), control de plagas y densidad de siembra. La preparación del suelo se efectuó de manera combinada entre tracción animal y mecanizada. Las labores de rotura y mullido se ejecutaron 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, se llevaron a cabo 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 efectuó el control de malezas con un azadón. En la etapa vegetativa, se llevaron a cabo dos muestreos a los 20 y 40 DDE en 30 plantas al azar por tratamiento en el área útil (8,8 m²) para evaluar variables de crecimiento, como la altura de la planta, que se midió con una cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice apical. 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 estado vegetativo (De la Vega & Hall, 2002).

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

Donde l es la longitud de cada hoja y, 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 la cosecha (115 DDE), se seleccionaron 30 plantas al azar por tratamiento y se evaluaron parámetros productivos como el diámetro de capítulo (DC, cm), medido con una regla graduada. La cantidad de semillas por capítulo (STC), semillas llenas por capítulo (SLL) y semillas vanas por capítulo (SVC) 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) se obtuvo pesando las semillas en una balanza digital (modelo BS 124S, 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 se sometieron a los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Después, se analizaron por medio de un análisis de varianza de dos vías y, cuando la prueba de Fisher (F) fue significativa ($p < 0,05$), se aplicó 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) mostró 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). La concentración de 100 mL m⁻² de CM a los 20 DDE registró 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.

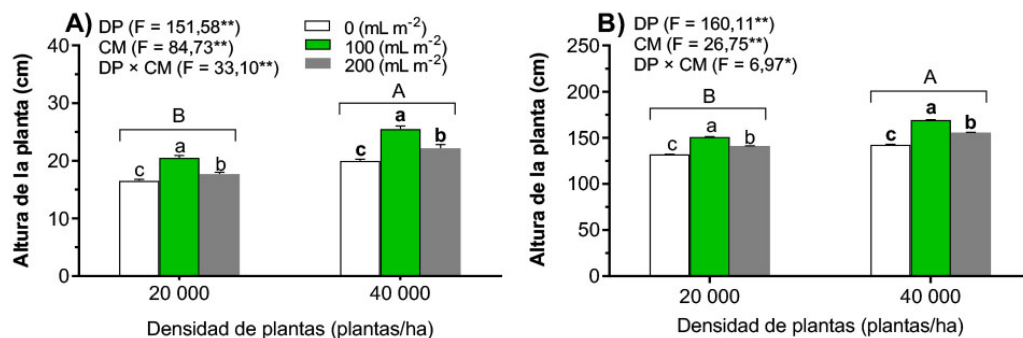


Figura 1. Valores promedios de la altura de la planta de girasol (variedad Caburé-15) observados a los 20 días después de la emergencia (DDE) (A) y a los 40 DDE (B), en función de dos densidades de plantas (DP; 20 000 y 40 000 plantas/ha) y tres concentraciones del consorcio microbiano (CM; 0, 100 y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

DP × CM: interacción entre DP y CM. Letras distintas entre grupos indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). * y ** 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 after emergence (DAE) (A) and at 40 DAE (B), as a 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”, Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

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

La inoculación con 200 mL m⁻² de CM exhibió aumentos significativos en la AP de 7 % y 11 % en las DP de 20 000 y 40 000 plantas/ha, respectivamente, en comparación con el tratamiento sin CM (Figura 1). A los 40 DDE, la inoculación con 100 mL m⁻² de CM mostró mayor AP en 13 % y 10 % en la DP de 20 000 plantas/ha, y en 19 % y 12 % en la DP de 40 000 plantas/ha, comparados respectivamente con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM (Figura 2).

El área foliar (AF) reveló interacción significativa entre los factores DP y CM a los 20 y 40 DDE. En todos los tratamientos de CM, la DP de 20 000 plantas/ha mostró incrementos significativos en el AF a los 20 y 40 DDE respecto a la DP de 40 000 plantas/ha. La inoculación con 100 mL m⁻² de CM exhibió aumentos significativos en el AF en ambas DP (Cuadro 1).

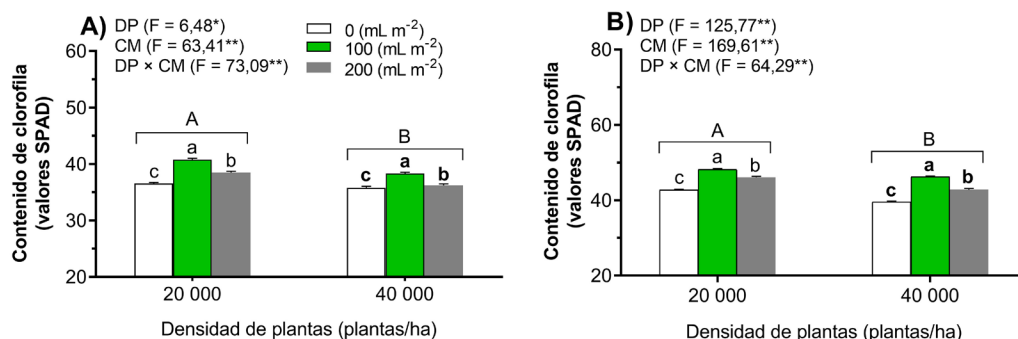


Figura 2. Valores promedios del contenido de clorofila observados en plantas de girasol (variedad Caburé-15) a los 20 días después de la emergencia (DDE) (A) y a los 40 DDE (B), en función de dos densidades de plantas (DP; 20 000 y 40 000 plantas/ha) y tres concentraciones del consorcio microbiano (CM;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

DP × CM: interacción entre DP y CM. Letras distintas 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.

Figure 2. Average values of chlorophyll content observed in sunflower plants (variety Caburé-15) at 20 days after emergence (DAE) (A) and at 40 DAE (B), as a 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”, Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

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

Cuadro 1. Valores promedios del área foliar e índice de área foliar observados en 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”, 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 (DDE) and 40 DDE, as a 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”, 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 entre DP y CM. Letras distintas 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 and CM interaction. Different letters among groups indicate significant differences according to Tuk-ey’s test ($p < 0.05$). * and ** indicate that F values are significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

A los 20 DDE, la concentración de 100 mL m⁻² de CM elevó 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 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 aumentos 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, comparados respectivamente con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM (Cuadro 1).

El IAF exhibió interacción significativa para los factores DP y CM a los 20 y 40 DDE (Cuadro 1). La DP de 40 000 plantas/ha mostró valores superiores respecto a la DP de 20 000 plantas/ha en ambas evaluaciones. La inoculación con 100 mL/m² de CM elevó el IAF a los 20 y 40 DDE en ambas DP (Cuadro 1). En la DP de 20 000 plantas/ha, los aumentos significativos 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 (Cuadro 1). En la DP de 40 000 plantas/ha, la concentración de 100 mL m⁻² de CM alcanzó mayores valores, con incrementos de 23 % y 11 % a los 20 DDE, y de 17 % y 11 % a los 40 DDE, respecto a los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de 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 respecto a la DP de 40 000 plantas/ha (Figura 2). La inoculación con 100 mL m⁻² de CM a los 20 DDE elevó significativamente 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, en comparación con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM, respectivamente (Figura 2A). A los 40 DDE, la aplicación de 100 mL m⁻² de CM presentó los valores más altos, con aumentos significativos de 19 % y 10 % en la DP de 20 000 plantas/ha, y de 11 % y 8 % en la DP de 40 000 plantas/ha, comparados respectivamente con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM (Figura 2B).

El diámetro del capítulo (DC) exhibió interacción significativa entre los factores DP y CM (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 de CM en ambas densidades, con aumentos de 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 elevó el DC en 26 % respecto al tratamiento sin CM (Cuadro 2). En la DP de 40 000 plantas/ha, la inoculación con 100 mL m⁻² de CM incrementó el DC en 47 % y 24 % comparado con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM, respectivamente; mientras que el tratamiento de 200 mL m⁻² de CM fue superior en 18 % en relación con el tratamiento sin CM (Cuadro 2).

La producción de semillas de girasol exhibió interacción significativa ($p < 0,01$) entre los factores DP y CM en las variables SLL, SVC, STC y PSL en la cosecha (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 de CM presentó promedios significativamente superiores en relación con la DP de 40 000 plantas/ha (Cuadro 3).

En ambas densidades evaluadas, 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 PSL, 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 provocó efectos significativos superiores en las STC, SLL y PSL, y redujo la producción de SVC comparada con el tratamiento sin CM (Cuadro 3).

Cuadro 2. Valores promedios del diámetro del capítulo observado en 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 periodo experimental. Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Table 2. Average values of head diameter of sunflower plants (variety Caburé-15) observed at harvest, as a 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”, 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 distintas 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 and CM interaction. Different letters among groups indicate significant differences according to Tukey’s test ($p < 0.05$). ** indicates that F values are significant at the 0.01 probability level.

Cuadro 3. Valores promedios de la producción de semillas por capítulo (STC), semillas llenas (SLL), semillas vacías (SVC) y porcentaje de semillas llenas por capítulo (PSLL) observados en 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”, Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

Table 3. Average values of seed production per head (STC), full seeds (SLL), empty seeds (SVC), and percentage of full seeds per head (PSLL) observed in sunflower plants (variety Caburé-15), as a 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”, Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

DP (plantas/ha)	CM (mL m ⁻²)	Producción de semillas							
		STC		SLL		SVC		PSLL	
20 000	0	2411,0 c	A	1633,0 c	A	778,0 a	A	62,5 c	B
	100	2621,0 a		2309,0 a		312,0 b		88,1 b	
	200	2546,0 b		2078,0 b		468,0 c		81,5 a	
40 000	0	2017,0 c	B	1557,0 b	B	460,0 b	B	77,2 c	A
	100	2249,0 a		2132,0 a		117,0 c		94,8 a	
	200	2172,0 b		1922,0 b		250,0 a		88,5 b	
Prueba F	DP	1206,37**		108,03**		6676,08**		3217,00**	
	CM	4784,09**		1010,73**		4058,40**		939,88**	
	DP × CM	6935,35**		1850,00**		3652,66**		717,33**	

DP: densidad de plantas; **CM:** consorcio microbiano. Letras distintas 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 significant at the 0.01 probability level.

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 CM (Figura 3). La MSC alcanzó mayores medias en la DP de 40 000 plantas/ha en todos los tratamientos con el CM, con diferencias significativas respecto a la DP de 20 000 plantas/ha (Figura 3A). La MSC exhibió incrementos significativos en la concentración de 100 mL m⁻² de CM, con aumentos en 22 % y 12 % en la DP de 20 000 plantas/ha, y de 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 densidades respecto al tratamiento sin CM (Figura 3A).

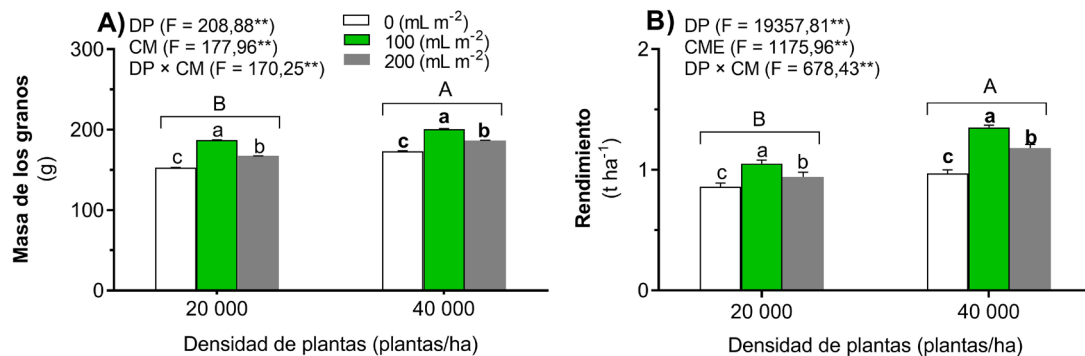


Figura 3. Valores promedio de la masa de las semillas por planta (A) y del rendimiento (B) observados en plantas de girasol (variedad Caburé-15), en función de dos densidades de plantas (DP; 20 000 y 40 000 plantas/ha) y tres concentraciones del consorcio microbiano (CM; 0, 100 y 200 mL m⁻²), durante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

DP × CM: interacción entre DP y CM. Letras distintas 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.

Figure 3. Average values of seed mass per plant (A) and yield (B) observed in sunflower plants (variety Caburé-15), as a 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 the experimental period. Centro Universitario Municipal de Taguasco, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Sancti Spíritus, Cuba. 2024.

DP × CM: DP–CM interaction. Different letters among groups indicate significant differences according to Tukey’s test ($p < 0.05$). ** indicates that F values are significant at the 0.01 probability level.

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 incrementó con la concentración de 100 mL m⁻² de CM, con aumentos 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, comparados respectivamente con los tratamientos sin CM y con 200 mL m⁻² de CM. La concentración de 200 mL m⁻² de CM mostró incrementos en el RD de 12 % en la DP de 20 000 plantas/ha y de 18 % en la DP de 40 000 plantas/ha en comparación con el tratamiento sin CM (Figura 3B).

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que las plantas de girasol alcanzaron mayor altura en la densidad de 40 000 plantas/ha, lo que puede deberse a que la intercepción de la luz máxima ocurre más temprano (Yanes Simón, Calero Hurtado & Bianco de Carvalho, 2023). Además, la altura de la planta puede verse influenciada

por la competencia intraespecífica por agua y nutrientes (Li et al., 2024; Minh et al., 2021). La uniformidad espacial y la simetría de las plantas también regulan la altura, de manera que las plantas con menor espacio tienden a crecer más para destacar (Yanes Simón, Calero Hurtado, Valdivia Pérez et al., 2023).

La adición del consorcio microbiano promovió la altura en ambas densidades evaluadas. Estos resultados pueden atribuirse a la incorporación de nutrientes esenciales como N, P, K y Ca, que favorecen diferentes procesos biológicos y celulares, mejorando la estructura de las plantas (Calero Hurtado et al., 2020). La estimulación del crecimiento por este tipo de combinación microbiana puede relacionarse con una mayor disponibilidad de nutrientes y la fijación atmosférica del nitrógeno por los diversos microorganismos (Calero-Hurtado et al., 2023; Khademian et al., 2019). Se ha reportado que los consorcios microbianos pueden secretar la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminasa, que impulsa el crecimiento vegetal (Gamboa-Angulo et al., 2020). También pueden promoverlo mediante la producción de fitohormonas como auxina, citoquinina y giberelina, que modulan los niveles hormonales endógenos en asociación con una planta (Santoyo et al., 2021).

Los mayores efectos en la altura de la planta se observaron en el tratamiento con la densidad de 40 000 plantas/ha y 100 mL⁻² de CM. Los hallazgos de este estudio reportan por primera vez influencia de la interacción entre la densidad y un consorcio microbiano en el crecimiento del girasol. Estos beneficios probablemente se debieron a una mayor simetría de las plantas, que permite un aprovechamiento más eficiente de la luz, el agua y los nutrientes (Pérez Díaz et al., 2024; Ríos-Hilario et al., 2023).

La mayor densidad (40 000 plantas/ha) redujo el AF individual debido a la intensificación de la competencia por recursos, lo cual concuerda con observaciones previas en condiciones de menor competencia (Criollo & García, 2011; Gómez Ariza et al., 2022; Pérez Díaz et al., 2024). No obstante, otras investigaciones han reportado que el incremento en el número de plantas eleva el IAF del cultivo, ya que la reducción por individuo se compensa a nivel poblacional (Leiva Rodríguez et al., 2018; Seibert et al., 2024). Asimismo, estudios en girasol han indicado que densidades elevadas favorecen el crecimiento vegetativo, aceleran el cierre del dosel y aumentan la producción de biomasa (Andriienko et al., 2020).

La inoculación con 100 mL m⁻² de CM favoreció el incremento del AF y del IAF en plantas de girasol bajo déficit hídrico. Este efecto se asocia con la acción de microorganismos como *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp. y *Saccharomyces cerevisiae*, capaces de solubilizar nutrientes minerales y producir compuestos bioactivos, incluidas fitohormonas que estimulan el desarrollo vegetal (Calero Hurtado et al., 2023; Singh et al., 2020). Además, se ha documentado que estos microorganismos contribuyen al crecimiento mediante la solubilización de fosfatos, la fijación biológica de nitrógeno y la síntesis de ácido indolacético y ACC desaminasa, procesos que fortalecen la nutrición y el vigor de las plantas (Aher et al., 2022; Etesami, 2020).

La densidad de 40 000 plantas/ha presentó aumentos significativos en el IAF, atribuibles a la mayor cantidad de individuos por superficie (Soleymani, 2017). Observaciones similares han sido reportadas recientemente en plantas de girasol (Calero Hurtado et al., 2025; Ibrahim et al., 2023; Raj et al., 2024; Rezaizad et al., 2022). Además, la inoculación con 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 densidades de plantas puede existir competencia por la luz solar, lo cual disminuye el CC debido a la reducción en la capacidad fotosintética (Dai et al., 2022; Zheng et al., 2021). Los CM pueden fijar el nitrógeno atmosférico y proporcionar una fuente adicional de N a las plantas, favoreciendo 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 fotosintéticos (Behera et al., 2021; Devi et al., 2022).

Los resultados de esta investigación revelaron que el diámetro del capítulo fue mayor en la menor densidad de plantas. Esto podría explicarse por la disminución de la competencia por luz, agua y nutrientes, a causa de una cantidad inferior de plantas por superficie (Raj et al., 2024). Observaciones similares se han reportado en plantas de girasol (Leiva Rodríguez et al., 2018; Seibert et al., 2024). Por otra parte, la adición del CM aumentó el diámetro del capítulo en ambas densidades, posiblemente debido a que los CM mejoran la producción de fitohormonas, aumentan la disponibilidad de nutrientes y controlan plagas, lo que se traduce en frutos más grandes y de mayor calidad (Gamboa-Angulo et al., 2020).

La producción de semillas por planta fue superior en la densidad de 20 000 plantas/ha. Sin embargo, la densidad de 40 000 plantas/ha elevó el número de semillas totales por área, debido a la mayor cantidad de plantas por superficie. Los efectos beneficiosos de la densidad de plantas en la producción de semillas han sido comprobados anteriormente por Leiva Rodríguez et al. (2018) y Rezaizad et al. (2022), quienes observaron un aumento de este indicador con el incremento de la densidad de siembra. Estudios recientes también han reportado que las menores densidades aumentan la cantidad de semillas por planta, pero reducen la producción por superficie, como consecuencia del menor número de individuos por área (Ibrahim et al., 2023; Raj et al., 2024). Otra posible explicación es que la densidad se correlaciona negativamente con la cantidad de semillas por planta y positivamente con el número de semillas por área sembrada (Carciochi et al., 2019; Raj et al., 2024).

La aplicación del CM logró incrementar la producción de semillas, especialmente con la concentración de 100 mL m⁻². Estudios recientes reportaron que los CM impactan de manera significativa 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). Además, el CM mejoró la cantidad de semillas llenas por capítulo y su porcentaje, probablemente porque contiene nutrientes como N, P, K y Ca que intervienen en procesos de crecimiento y desarrollo del girasol (Calero Hurtado et al., 2020). Sin embargo, un estudio reciente reportó que la inoculación con un CM, en combinación con la aplicación foliar de aminoácidos, aumentó la producción de semillas de girasol bajo condiciones de déficit hídrico, principalmente a través de la mejora del vigor vegetal, el contenido de clorofila y el estado hídrico de las hojas (Calero Hurtado et al., 2025).

Resultados similares en el aumento de producción de semillas con la aplicación de este CM han sido reportados en plantas de ajonjolí (Pérez Díaz et al., 2024), arroz (Calero Hurtado et al., 2020), pepino (Calero Hurtado et al., 2023), habichuela (Calero Hurtado et al., 2020) y frijol (Calero-Hurtado et al., 2022, 2023; Granda-Mora et al., 2024). Los resultados de este estudio demuestran por primera vez que la interacción entre la densidad de siembra y el CM incrementa la producción de semillas de girasol, y constituye una alternativa sostenible para el cultivo en condiciones de baja disponibilidad hídrica.

El rendimiento del girasol fue modificado por las densidades de plantas, especialmente por la de 40 000 plantas/ha. Efectos similares han sido reportados en este cultivo (Mladenović et al., 2020; Rezaizad et al., 2022). Los incrementos en la productividad podrían haber sido causados por los efectos positivos observados en los parámetros de crecimiento (altura de la planta, área foliar, índice de área foliar y contenido de clorofila) y los productivos (diámetro del capítulo, número de semillas por capítulo, número de semillas llenas por capítulo, número de semillas vacías por capítulo, porcentaje de semillas llenas por capítulo y masa de semillas por capítulo). Una posible explicación es que las densidades adecuadas disminuyen el crecimiento de malezas, permiten un mejor aprovechamiento de la luz y desarrollan un adecuado sistema radicular, lo que favorece la absorción de agua y nutrientes (Yanes Simón, Calero Hurtado & Bianco de Carvalho, 2023).

El rendimiento de 2536 kg ha⁻¹ obtenido a la mayor densidad (40 000 plantas ha⁻¹), supera la media mundial de aproximadamente 2000 kg ha⁻¹ (Seibert et al., 2024). Una posible explicación para este hallazgo es que, a 40 000 plantas ha⁻¹, el cultivo optimiza la interceptación de luz, mejora la cobertura del suelo y la eficiencia en el uso de recursos (agua y nutrientes), y favorece una mayor biomasa productiva por unidad de superficie (Echarte et al., 2020).

Conclusiones

Los resultados de este estudio demostraron que la densidad de plantas y la aplicación del consorcio microbiano (CM) 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.

La incorporación del consorcio microbiano a una concentración de 100 mL m⁻² estimuló de manera significativa el crecimiento y el rendimiento del girasol, independientemente de la densidad de plantas. Los hallazgos sugieren que la combinación de la densidad de 40 000 plantas/ha y la dosificación de 100 mL m⁻² de CM constituye una estrategia local viable para optimizar la producción sostenible del girasol en condiciones de déficit hídrico.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo al 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(17), 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., Vasylykovska, K., Andriienko, A., Vasylykovskiy, O., Mostipan, M., & Salo, L. (2020). Response of sunflower hybrids to crop density in the steppe of Ukraine. *Helia*, 43(72), 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 Viciedo, D., Pérez Díaz, Y., González-Pardo Hurtado, Y., Yáñez Simón, L. A., & Peña Calzada, K. (2020). Manejo de diferentes densidades de plantación y aplicación de microorganismos eficientes incrementan la productividad del arroz. *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(9), Article 1365. <https://doi.org/10.3390/w17091365>
- Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., Peña Calzada, K., Olivera Viciado, D., Jiménez Hernández, J., & Carabeo Pérez, A. (2023). Coinoculación de biofertilizantes microbianos en pepino y habichuela y su efecto en el crecimiento y rendimiento. *Temas Agrarios*, 28(2), 220–232. <https://doi.org/10.21897/bz3pk58>
- Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Hernández-González, L., García-Guardarrama, Y., Pacheco-Méndez, S. M., Rodríguez-Pérez, Y., & Castro-Lizazo, 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>
- Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Rodríguez-Lorenzo, M., & Rodríguez-González, V. (2022). Aplicación conjunta del consorcio microorganismos benéficos y FitoMas-E® incrementan los indicadores agronómicos del frijol. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1), Artículo e2252. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.2252>
- 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(4), 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/rcch.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(4), 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>
- Echarte, L., Echarte, M. M., Cerrudo, D., Gonzalez, V. H., Alfonso, C., Cambareri, M., Hernandez, M. D., Nagore, M. L., & Maggiora, A. D. (2020). Sunflower evapotranspiration and water use efficiency in response to plant density. *Crop Science*, 60(1), 357–366. <https://doi.org/10.1002/csc2.20001>

- 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 el 23 de marzo de 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. (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(4), 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(9), 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(12), 7718–7731. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3690>
- Gómez Ariza, M., Ordóñez Fernández, R., Sánchez Ruiz, F., & Gómez Ariza, 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-Reinos, 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(1), 75–81. <https://dergipark.org.tr/en/pub/selcukjafsci/issue/76375/1275165>
- Hernández-Jiménez, A., Pérez-Jiménez, J. M., Bosch-Infante, D., & Castro Speck, N. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1), Artículo a15–e15. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1504>
- 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.paradigmpress.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.). 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(15), Article 8369. <https://doi.org/10.3390/su13158369>

- Kemp, C. D. (1960). Methods of estimating the leaf area of grasses from linear measurements. *Annals of Botany*, 24(4), 491–499. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083723>
- Khademian, R., Asghari, B., Sedaghati, B., & Yaghoobian, 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>
- Leiva Rodríguez, L., García de la Osa, J., & Delgado Rigo, M. (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(1), 63–72. <http://www.infocienciass.cu/index.php/infociencia/article/view/419>
- 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 phenes of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Physiologia Plantarum*, 176(1), 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(4), 468–472. <https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/A-614>
- Ministerio de Agricultura de Cuba. (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(1), 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>
- Pérez Díaz, Y., Calero Hurtado, A., Peña Calzada, K., Gutiérrez Díaz, J. L., & Rodríguez González, V. (2024). Densidades de plantas y aplicación foliar de aminoácidos incrementan el rendimiento del ajonjolí. *Temas Agrarios*, 29(1), 100–112. <https://doi.org/10.21897/w2sd1542>
- 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(1), 120–134. <https://doi.org/10.34016/pjbt.2024.21.01.844>
- Rezaizad, A., Arman, S., Sadat Asilan, K., & Mansourifar, S. (2022). Effect of plant density and drought stress on important agronomic characteristics of confectionery sunflower. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(4), 991–1003. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.4177.1985>
- Ríos-Hilario, J. J., Maldonado-Peralta, M. de los Á., Rojas-García, 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 Fitotecnia Mexicana*, 46(1), 3–10. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.1.3>
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., De los Santos-Villalobos, S., Orozco-Mosqueda, M. del C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11(2), 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>
- 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>
- Yanes Simón, L. A., Calero Hurtado, A., & Bianco de Carvalho, L. (2023). Influencia de diferentes densidades de plantas en la productividad de la soya. *InfoCiencia*, 27(3), 32–43. <http://www.infocienciass.cu/index.php/infociencia/article/view/1281>
- Yanes Simón, L. A., Calero Hurtado, A., Valdivia Pérez, W. B., & Bianco de Carvalho, L. (2023). Influencia de altas densidades de plantas en la productividad de la soya. *Universidad & Ciencia*, 12(3), 155–166. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11528387>
- 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(3), 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>