



Carrera: Ingeniería en Procesos Agroindustriales

Trabajo de Diploma

**APLICACIÓN DE COMPOST DE CACHAZA CONTRIBUYE AL
DESARROLLO AGROINDUSTRIAL DEL GIRASOL**

Autor: Michel Ruiz Darias

Tutora: Dr. C. Alexander Calero Hurtado. Profesora Auxiliar

Sancti Spíritus

2024

Copyright©UNISS

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, y se encuentra depositado en los fondos del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación “Raúl Ferrer Pérez”, subordinado a la Dirección General Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



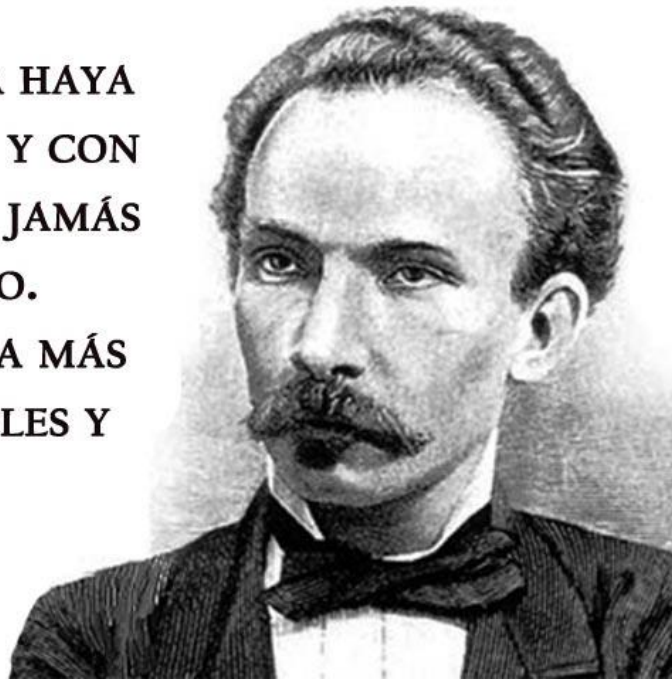
Para cualquier información, contacte con:

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación “Raúl Ferrer Pérez”. Comandante Manuel Fajardo s/n, esquina a Cuartel, Olivos 1. Sancti Spíritus. Cuba. CP. 60100

Teléfono: 41-334968

PENSAMIENTO

**“TIERRA, CUANTA HAYA
DEBE CULTIVARSE: Y CON
VARIOS CULTIVOS, JAMÁS
CON UNO SOLO.
INDUSTRIAS, NADA MÁS
QUE LAS NATURALES Y
DIRECTA”**



DEDICATORIA

“A mi madre, por haber insistido tanto en mi superación personal, por su guía oportuna y siempre poder contar con ella, en cada paso de mi vida”.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecimiento especial a mi madre Aurora, mi esposa Dayanis, mis hijos Riand y Roy, por su apoyo incondicional, para cumplir mis objetivos personales y académicos, impulsándome a perseguir mis metas y no abandonarlas pese a las adversidades.

A mi tutor Dr. C. Alexander Calero Hurtado, por su guía oportuna y correcciones precisas no hubiese podido lograr a esta instancia anhelada.

A mis compañeros de grupo en especial a mi hermano Osmany, y Juan Carlos que juntos hemos logrado vencer este camino y contar con su apoyo incondicional.

A mi centro de trabajo, por darme la oportunidad de estudiar en especial a la Ingeniera Maura por su guía y apoyo a mi docencia.

A la Universidad de Sancti Spiritus “José Martí Pérez”, en especial al Centro Universitario Municipal de Taguasco, a cada directivo de estos centros y profesores por sus conocimientos transmitidos, entre ellos Al compañero Hugo Cruz de la Paz, jefe de la Carrera en Procesos Agroindustriales, que con tanta paciencia y apoyo nos supo guiar.

Por último, agradecemos al proyecto Creación de capacidades para la producción escalonada de oleaginosas y aceites comestibles sobre bases agroecológicas” que propicio el desarrollo de la investigación, por lo tanto, “La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN211LH012-36”

A TODOS MUCHAS GRACIAS

RESUMEN

La fertilización con compost de cachaza (CH) y la utilización de densidades de plantas (DP) adecuadas puede ser una alternativa sostenible para la producción de girasol. Para verificar lo anterior, se realizó un experimento de campo, con el objetivo de evaluar los efectos de la densidad de siembra y la aplicación de cachaza en el rendimiento del girasol. Los tratamientos se distribuyeron en parcelas divididas, en bloques al azar con tres réplicas. Las parcelas principales fueron dos densidades de plantas (20000 y 40000 plantas ha⁻¹) y las secundarias fueron tres tratamientos de compost de cachaza [0 (sin CH), 2 y 4 t ha⁻¹]. Los resultados de este estudio indican que la densidad de plantas y las dosis de cachaza mostraron interacciones significativas y modifican el crecimiento y rendimiento del girasol. La DP de 40000 plantas ha⁻¹ exhibió mayores crecimiento y rendimiento que la DP de 20000 plantas ha⁻¹, mientras que, la dosis de 4 t ha⁻¹ de cachaza influye positivamente en promoción del crecimiento y la productividad de las plantas de girasol en relación a las otras dosis evaluadas. Por lo tanto, los resultados de esta investigación sugieren que la siembra de girasol a 40000 plantas ha⁻¹ y fertilizadas con de 4 t ha⁻¹ de cachaza es una estrategia económica y sustentable para aumentar los rendimientos de este cultivo y también es una alternativa amigable para el medio ambiente.

Palabras clave: Biofertilizantes, Densidad de siembra, *Helianthus annuus*, Productividad.

ABSTRACT

Fertilization with filter cake (CH) and the use of appropriate plant densities (DP) can be a sustainable alternative for sunflower production. To verify the above, a field experiment was carried out, with the objective of evaluating the effects of planting density and filter cake application on sunflower growth and yield. The treatments were distributed in divided plots, distributed in random blocks with three replications. The main plots were two plant densities (20,000 and 40,000 plants ha⁻¹) and the secondary plots were three filter cake treatments [0 (no filter cake), 2 and 4 t ha⁻¹]. The results of this study indicate that plant density and cachaça doses showed significant interactions and modify the growth and yield of sunflower. Also, in this study indicated that plant density and filter cake doses showed significant interactions and modify the growth and yield of sunflower. Therefore, the results of this research suggest that planting sunflower at 40,000 plants ha⁻¹ and fertilizing with 4 t ha⁻¹ of filter cake compost is an economic and sustainable strategy to increase the yields of this crop and is also an alternative friendly to the environment.

Keywords: Biofertilizer, Sowing density, *Helianthus annuus*, Productivity.

ÍNDICE

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 Origen, importancia y producción del girasol.....	4
1.2 Taxonomía del girasol	4
1.3 Aspectos generales.....	5
1.4 Requerimientos edafoclimáticos	6
1.5 Densidades de plantas en el cultivo del girasol	7
1.6 Requerimientos nutricionales del cultivo del girasol.....	11
1.7 Beneficios de la biofertilización con compost de cachaza.....	13
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1 Determinación de los posibles problemas que pudieran intervenir en la productividad del girasol.....	16
2.2 Metodología de desarrollo de la herramienta del Método de Experto.....	16
2.2.1 Proceso de selección de los expertos.....	16
2.2.2 Evaluación de la opinión de los expertos	17
2.3 Experimentación a escala de campo. Localización y material vegetal	18
2.4 Diseño experimental	19
2.5 Aplicación del compost de cachaza	19
2.6 Determinación de las variables	19
2.6.1 Parámetros del crecimiento	19
2.6.2 Parámetros productivos	20
2.7 Análisis de los datos	21
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1 Principales problemas que intervienen en la producción de girasol	22
3.2 Aplicación del método de expertos sobre el conocimiento de la utilización de la DP y la aplicación de CH en el cultivo de girasol	22
3.3 Efecto de los tratamientos en el crecimiento de las plantas de girasol	23
3.4 Efecto de los tratamientos en la productividad del girasol	29
CONCLUSIONES	38
RECOMENDACIONES	39

INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es un cultivo de gran interés comercial por la composición de su semilla en el uso industrial para la obtención de aceite y las cualidades que posee en sus semillas. La influencia del clima es un factor importante en el ciclo de cultivo, especialmente la temperatura ambiental ya que de ella depende la duración del ciclo (Zapletalová et al., 2023). El girasol es una semilla oleaginosa utilizada como alimentación humana, animal y como planta ornamental, debido al porte y sobre todo a la belleza de sus inflorescencias. Luego de la extracción del aceite, lo que sobra de las semillas (el expeler o el pellet) se utiliza en la preparación de productos para alimentación animal.

Mediante el uso de prácticas agrícolas se provee a los cultivos de las condiciones favorables para la expresión del mayor rendimiento potencial; dentro de dichas prácticas destaca la evaluación de genotipos, densidad de plantas y el manejo de la fertilización (Modanlo et al., 2021).

Entre las prácticas que más influyen en los rendimientos de los cultivos se encuentra la utilización adecuada de densidades de siembras o plantas (Calero Hurtado et al., 2020). La aplicación de densidades adecuadas de siembra es esencial para aumentar el rendimiento de las plantas, ya que mejora la utilización de la energía de la luz en las hojas, promueve la absorción de nutrientes y aumenta la acumulación de materia seca con el rendimiento (Cheng et al., 2020; Simón, Hurtado, Pérez, et al., 2023).

El manejo de las densidades de plantas depende de varios factores como: la fertilidad del suelo, la humedad (suelo y aire), el porcentaje de germinación y las características agronómicas de las variedades o cultivares (Simón, Hurtado, & Carvalho, 2023). El patrón espacial del cultivo es otro factor agronómico que puede afectar el rendimiento del girasol y la competitividad del cultivo frente a las malezas (Andrade et al., 2023). Sin embargo, es ampliamente reportado, que un patrón de siembra uniforme aumenta la uniformidad espacial y el índice de foliar de la hoja, reduce el sombreado mutuo y acelera el cierre de la hoja, todo lo cual resulta en una mayor interceptación de radiación por las hojas y aumento del crecimiento y rendimiento de los cultivos (Carciochi et al., 2019).

La productividad del girasol está condicionado por diferentes factores como el ciclo del cultivo, variedad, cultivar o híbrido, fertilidad del suelo, disponibilidad hídrica, densidad de población, entre otros (Seibert et al., 2024). Las densidades de plantas alteran el rendimiento del girasol en dependencia del genotipo (Andriienko et al., 2020). También, la densidad es significativa para

aumentar el peso de las semillas, el tamaño del capítulo y el crecimiento (Rezaizad et al., 2022). Además, la producción de biomasa de área en el girasol es altamente dependiente de la densidad de plantas (Friedman, 2024). Igualmente, la densidad de plantación desempeña un rol fundamental para la producción de flores cortadas de alta calidad y características deseables es un factor clave en el cultivo del girasol (Mladenović et al., 2020).

Los biofertilizantes ofrecen un potencial para mejorar la producción y calidad de las cosechas. Estos productos no nutricionales pueden reducir el uso de fertilizantes y mejorar la resistencia de las plantas al estrés (Hurtado et al., 2023).

El aumento en los procesos productivos agrícolas e industriales da como resultado la generación de residuos de origen vegetal, que conllevan impactos negativos al ambiente, el medio y la salud humana. Debido a ello se buscan alternativas de manejo sostenible para la reducción, reutilización o transformación de dichos residuos (Rosas & Bendezú, 2023). En este sentido, la agroindustria azucarera genera por cada mg de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) procesada, se generan entre 25 a 30 kg de cachaza o torta de filtro; un residuo orgánico que usualmente se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar. Por la necesidad de disminuir la dependencia de agroinsumos químicos en el cultivo, la búsqueda de alternativas sostenibles como las compostas es una opción de agricultura alternativa, porque su incorporación en forma de abonos orgánicos promueve la biodiversidad del suelo (Moreno-Escandón et al., 2021).

La cachaza o torta de filtro, a pesar de tener potenciales como biofertilizantes en el uso agrícola, no es aprovechado en su totalidad en la mejora de la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. El valor agregado del compost de cachaza en la actividad agrícola, como fuente de nutrientes y mejorador de las propiedades de los suelos (Quiroz Guerrero & Pérez Vázquez, 2013). Los beneficios de la utilización del compost de cachaza como enmienda orgánica ha sido evaluado en las propiedades de los suelos (Moreno-Escandón et al., 2021; Rosas & Bendezú, 2023) y en diversos cultivos como la caña de azúcar (Crusciol et al., 2021), remolacha (Gameh et al., 2020), maíz (Rosas & Bendezú, 2023), entre otros, pero los efectos sobre el crecimiento y rendimiento del girasol son escasos.

Situación problemática:

El problema central de la investigación se basa en el desconocimiento de los efectos combinados entre la densidad de plantas y la aplicación de compost de cachaza en el crecimiento y rendimiento del cultivo de girasol. La búsqueda de alternativas biofertilizantes constituyen una

alternativa para promover incrementos en el rendimiento del girasol. Por tanto, el establecimiento de nuevos cultivos como el girasol es una opción más para los productores locales, ya que alternativas novedosas de producción podrán solucionar problemas de sobreproducción en los mercados nacionales. Basado en las premisas anteriores y los insuficientes conocimientos en el manejo del cultivo del girasol, se desconocen los efectos combinados entre la densidad de plantas y la aplicación de compost de cachaza en las respuestas del crecimiento y rendimiento del girasol en época poco lluviosa en las condiciones edafoclimáticas de la empresa Agropecuaria de Tuínucu, municipio Taguasco, provincia Sancti Spíritus, Cuba.

Problema científico:

¿Cuál será la influencia de la densidad de plantas y la aplicación de compost de cachaza en el crecimiento y el rendimiento del girasol en época de siembra poco lluviosa?

Objeto de estudio:

Densidad de plantas y aplicación de compost de cachaza.

Campo de acción:

Crecimiento y rendimiento del girasol.

Hipótesis:

La utilización de diferentes densidades de población y la aplicación de compost de cachaza pueden ser una alternativa eficiente y económica para modificar los parámetros del crecimiento y el rendimiento del girasol en época de siembra poca lluviosa.

Objetivo general:

Evaluar los efectos de la densidad de siembra y la aplicación de compost de cachaza en el crecimiento y rendimiento del girasol en época de siembra poca lluviosa.

Objetivos específicos:

- Determinar por criterio de especialistas la viabilidad de la utilización de diferentes densidades de población y la aplicación de compost de cachaza en la producción de girasol en época poca lluviosa.
- Comparar los efectos de diferentes densidades de población y la aplicación de compost de cachaza en el incremento del crecimiento y el rendimiento del girasol en época de siembra poca lluviosa.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BILIOGRÁFICA

1.1 Origen, importancia y producción del girasol

El origen del girasol se remonta a 3.000 años a.C. en el norte de México y Oeste de Estados Unidos, ya que fue cultivado por las tribus indígenas de Nuevo México y Arizona. Era uno de los principales productos agrícolas empleados en la alimentación por muchas comunidades americanas antes del descubrimiento (Bye et al., 2009).

El girasol es sinónimo de aceite y proteína en segundo lugar. Su aceite ha sido por años de tipo “linoleico”, sin embargo, por razones vinculadas al cuidado de la salud y la demanda de características especiales para usos industriales, en particular tolerancia a altas temperaturas durante periodos prolongados, impulsaron el desarrollo de los girasoles medio oleico y alto oleico. Como aderezo, parece útil cualquiera de los aceites existentes, aunque el paladar argentino está acostumbrado al linoleico que tiene un sabor muy particular y es muy valorado en Europa (Arenas Julio et al., 2021).

La industria alimentaria mundial comienza a recurrir a girasoles de alto contenido de ácido oleico para evitar los perjuicios ocasionados por los aceites hidrogenados. La demanda de sustitución de aceites con configuración trans parece revalorizar estos nuevos perfiles acídicos. Hoy el mercado se inclina por los mono-insaturados, en un contexto de fuerte tendencia hacia una política de “alimentos sanos”. Los procesadores de Canadá, de Estados Unidos y MERCOSUR, deben rotular todos los productos que contengan aceites hidrogenados advirtiéndolo sobre su contenido. Esto significa una potencial oportunidad para aquellos aceites que no necesitan ser hidrogenados, aquellos con alto contenido oleico o medio oleico. Si bien no se trata de un proceso de sustitución, ya que sigue habiendo un mercado para el aceite linoleico, serán los aceites alto y medio oleico los que tendrán una oportunidad de crecimiento en los mercados (Statista, 2023).

1.2 Taxonomía del girasol

El girasol es altamente diversificado, se compone de 49 especies y 19 subespecies con 12 especies anuales y 37 perennes y con la siguiente clasificación (Alberio et al., 2015):

Reino: Plantae

Subclase: Asteridae

División: Magnoliophyta

Familia: Asteraceae

Clase: Liliopsida

Género: *Helianthus*

Nombre científico: *Helianthus annuus* L

1.3 Aspectos generales

Es una planta herbácea de gran porte, que puede alcanzar los dos metros de altura y que tiene una vida de un año durante el cual crece, florece y da semillas que germinarán al año siguiente. Para su óptimo desarrollo necesita de una gran cantidad de horas de insolación y mucha humedad. Posee hojas de forma triangular, ásperas al tacto. Los frutos, que popularmente se denominan "pipas", son grandes, de unos dos centímetros de largo y de color blanco, gris o negro, según la variedad de que se trate (Alberio et al., 2015).

1.3.1 Sistema Radicular

Se destaca su adaptabilidad a diferentes niveles de agua en el suelo. En las etapas iniciales de desarrollo, la raíz principal crece más rápido que la zona aérea de la planta. En el estado DE cotiledones, tiene entre 4 y 8 cm de longitud con 6-10 raicillas. A medida que avanza, puede alcanzar profundidades de 50-70 cm, siendo su mayor crecimiento durante la floración. En muchos casos, la longitud de la raíz principal supera la altura del tallo (Alberio et al., 2015).

1.3.2 Tallo

El tallo de la planta de girasol es erecto, cilíndrico y vigoroso, con una superficie rugosa y vellosa. Su diámetro puede variar entre 2 y 6 cm, y puede alcanzar alturas de hasta 2 metros. En la etapa de madurez, el tallo se inclina en la parte terminal por el peso del capítulo, que puede colgar en mayor o menor grado. La inclinación del tallo varía según la variedad (Alberio et al., 2015).

1.3.3 Hojas

Las hojas del girasol son grandes, alternas, trinervadas y presentan características variables en forma, acuminación, dentición y vellosidad en ambas caras. La cantidad de hojas varía entre 12 y 40, y su forma cambia según su posición en el tallo. Las hojas centrales realizan la mayoría de la fotosíntesis, mientras que las últimas hojas tienden a secarse (Alberio et al., 2015).

1.3.4 Inflorescencia

La inflorescencia, llamada capítulo, se compone de flores liguladas y tubulosas. Las flores liguladas se ubican en el anillo exterior del capítulo, cuya función es exhibir y generar atracción visual para los polinizadores. Las flores tubulosas se encuentran en el interior del capítulo, dispuestas en arcos espirales desde el centro hacia el anillo de flores liguladas. Las flores

tubulosas son las verdaderas flores hermafroditas que contienen los órganos de reproducción (Alberio et al., 2015).

1.3.5. Fruto y semilla

El fruto del girasol es un aquenio comprimido con un tamaño de 7.5-17 mm de largo y 3.5-9 mm de ancho. Es aterciopelado y vellosa, con un pericarpio duro y fibroso. Sin embargo, es importante tener en cuenta que lo que comúnmente se llama "semilla" es en realidad el aquenio, y lo crucial es la almendra o grano que contiene. La cáscara rodea esta parte importante de la semilla, que contiene aceite y nutrientes valiosos (Alberio et al., 2015).

En las regiones templadas la planta requiere un tiempo de crecimiento entre aproximadamente 11 días desde su siembra hasta la emergencia. Posteriormente necesita de 33 días hasta que aparezca el botón floral. Desde la visibilización del botón floral hasta la primera antena requiere de 27 días. Finalmente, le toma 8 días desde la primera antena hasta la última y 30 días hasta llegar a su etapa de madurez (FAOSTAT, 2023).

1.4 Requerimientos edafoclimáticos

1.4.1 Suelo

Es un cultivo poco exigente en el tipo de suelo, aunque prefiere los arcillo-arenosos y ricos en materia orgánica, pero es esencial que el suelo tenga un buen drenaje y la capa freática se encuentre a poca profundidad. El girasol es muy poco tolerante a la salinidad, y el contenido de aceite disminuye cuando esta aumenta en el suelo. En suelos neutros o alcalinos la producción de girasol no se ve afectada, ya que no aparecen problemas de tipo nutricional (Arenas Julio et al., 2021).

El girasol puede prosperar en una amplia variedad de tipos de suelos fértiles, incluidos aquellos de textura franco arenosa o arcillosa. Se adapta bien a un rango de pH en el suelo que se sitúa entre 6,0 y 7,5. Históricamente, el cultivo del girasol se ha restringido a suelos que presentan un contenido de arcilla que varía entre el 15% y el 55% (es decir, suelos que van desde francoarenosos hasta arcillosos). Las principales áreas de cultivo se encuentran en suelos con un contenido de arcilla inferior al 20% (Mehta et al., 2024).

1.4.2 Temperatura

La temperatura es un factor muy importante en el desarrollo del girasol, adaptándose muy bien a un amplio margen de temperaturas que van desde 25°-30° a 13°-17°C. Si la temperatura es muy

alta durante la floración y llenado del grano, provoca una importante pérdida en la producción final, tanto en peso como en contenido graso (Seiler, 2022).

1.4.3 Fotoperiodo

El fotoperiodo, es decir, la duración de la exposición a la luz solar en un día, tiene efectos notables en el girasol. Las variaciones en términos de desarrollo de hojas, fecha de floración y duración de las etapas de crecimiento y desarrollo se atribuyen al fotoperiodo. En la fase reproductiva de la planta, el fotoperiodo pierde influencia, y la intensidad y calidad de la luz se vuelven más importantes. El sombreado de las plantas jóvenes puede ocasionar alargamiento del tallo y reducción de la superficie foliar (Soleymani, 2017).

1.4.4 Humedad Relativa

Dentro del periodo de crecimiento vegetativo y especialmente en el proceso de desarrollo y llenado de las semillas, la planta presenta una alta demanda de agua. La mayor necesidad de riego se observa durante la etapa de formación del capítulo, donde la planta absorbe aproximadamente el 50% del total requerido a lo largo de su ciclo de cultivo. Para una óptima nutrición hídrica, se sugiere proporcionar alrededor de 600 a 650 mm de agua durante la etapa vegetativa, destinando unos 150 mm hasta la aparición del botón floral. A los veinte días posteriores a la floración, se recomienda suministrar entre 300 y 350 mm de agua, y durante la fase de maduración, se estima necesario aportar unos 150 mm adicionales. El coeficiente de transpiración de esta planta es notablemente elevado, variando en el rango de 470 a 765 mm (Seiler, 2022).

1.4.5 Riego

Se trata de una planta que aprovecha el agua de forma mucho más eficiente en condiciones de escasez, su sistema radicular extrae el agua del suelo a una profundidad a la que otras especies no pueden acceder. Si se realiza un subsolado profundo se facilita la penetración del agua, el drenaje y la aireación del terreno, mejorando de forma considerable el resultado del riego. A partir de este momento las necesidades hídricas aumentan considerablemente y se mantienen hasta unos 25-30 días después de la floración aportando un segundo riego de 60-80 litros por metro cuadrado en plena floración (Alberio et al., 2015).

1.5 Densidades de plantas en el cultivo del girasol

El girasol es una planta dependiente de las condiciones edafoclimáticas de cada territorio, aunque puede realizarse en cualquier época del año, dentro de las posibilidades de que exista adecuada

pluviosidad. Generalmente, la siembra se distribuye en surcos o líneas y a diferentes distancias entre plantas. La semilla se debe depositar a una profundidad de 3-5 cm y tapar con una ligera capa de suelo. Actualmente y debido a las grandes extensiones de siembra del cultivo de girasol se utilizan sembradoras que ubican la semilla en el suelo a una separación y profundidad considerable para la posterior germinación y emergencia (Alberio et al., 2015).

La determinación de la densidad de población en el cultivo de girasol involucra la consideración de varios factores cruciales. Estos incluyen la cantidad de precipitaciones disponibles, la calidad de la nutrición del suelo, el genotipo, calidad de la semilla y la separación entre hileras o surcos. La elección de la distancia adecuada entre las plantas también está influenciada por la región en la que se llevará a cabo el cultivo (Farweez et al., 2020). En áreas áridas, por ejemplo, se recomienda aumentar la separación entre surcos, estableciendo un espacio de alrededor de 80 a 100 cm (Escalante-Estrada et al., 2022). Esta medida tiene como objetivo asegurar un suministro suficiente de agua durante etapas críticas como la floración y maduración. Sin embargo, bajo condiciones de riego y al emplear buenas prácticas agrícolas y técnicas de fertilización, es posible aumentar la densidad de población de plantas (Simón, Hurtado, Pérez, et al., 2023).

En México, los cultivares Victoria Mejorado y Sunbred fueron estudiados con la densidad de población y la fertilización nitrogenada sobre la acumulación y distribución de materia seca en la planta, la biomasa total, rendimiento y sus componentes. Los resultados indican que el aumento de la densidad de población y la fertilización nitrogenada elevaron la eficiencia en el uso del agua, la acumulación de materia seca en los órganos de la planta, la biomasa total, el número de granos y el rendimiento del grano, pero no afectaron los días a etapas fenológicas, el índice de cosecha y el tamaño del grano (Escalante Estrada et al., 2020).

Un estudio en Ucrania con híbridos de girasol de diferentes grupos de madurez (LG 50300, LG 5580, LG 5478, LG 5638, LG 5662) mostró que las siembras entre 55 000 a 70000 plantas ha⁻¹ provocó disminuciones en la productividad de 0,11 t ha⁻¹ y 0,9% del contenido de aceite en el híbrido temprano LG 50300, 0,21 t ha⁻¹ en el híbrido medio-temprano LG 5580, mientras que el contenido de aceite se mantuvo prácticamente igual. También, otro híbrido medio-temprano LG 5478 mostró ligeras variaciones en la productividad y el contenido de aceite con un aumento de la densidad de siembra. El estudio del híbrido de media estación LG 5038 mostró una disminución de la productividad de siembra de 0,2. t ha⁻¹ con la densidad hasta 70000 plantas ha⁻¹

¹. El híbrido de estación media LG 5662 cultivado a la densidad de 70000 plantas ha⁻¹ mostró un aumento de la productividad de 0,14 t ha⁻¹ (Andriienko et al., 2020).

Un experimento de campo en el centro de Nueva York evaluó el efecto de la densidad de girasol sobre la biomasa de malas hierbas y el rendimiento en la producción orgánica de girasol. Dos variedades de girasol, Badger DMR y N5LM307, se sembraron a 6,1 y 8,6 semillas m⁻², y se cultivaron utilizando prácticas de manejo orgánico en un sitio en 2016 y dos sitios en 2017. Se cuantificaron la densidad de girasol, la biomasa de malas hierbas y el rendimiento de girasol en la madurez del cultivo. No se observaron diferencias en el rendimiento de semillas de girasol entre variedades o tratamientos de dosis de siembra. (Mouillon et al., 2020).

En las temporadas 2017 y 2018 se estudiaron los efectos de la densidad de plantas (46666, 28000, 20000 plantas ha⁻¹) en las parcelas principales y tres tratamientos de fertilización nitrogenada (0, 2 y 3 dosis) se dispusieron en subparcelas. Los resultados obtenidos mostraron que la altura de la planta, el peso de la semilla por planta, el rendimiento de semilla (kg ha⁻¹), el porcentaje de aceite (%) y el rendimiento de aceite (kg ha⁻¹) se vieron afectados significativamente por la densidad de plantas en ambas temporadas. Densidad de plantas 20000 plantas ha⁻¹ mostró los valores medios más altos de rendimiento de semilla ha⁻¹ (2669,14 y 2569,59 kg ha⁻¹) y rendimiento de aceite ha⁻¹ (990,47 y 915,21 kg ha⁻¹, en la primera y segunda temporadas, respectivamente) (Farweez et al., 2020).

La evaluación de 25 genotipos de girasol ornamental de un solo tallo a tres densidades de plantación de 160000, 90000 y 60000 plantas ha⁻¹. La densidad de plantación de 160000 plantas ha⁻¹ mostró el efecto más importante sobre la circunferencia del tallo, el diámetro de la flor y la longitud del tallo (variación total 52, 60 y 58%, análisis AMMI) y un pequeño efecto sobre el tiempo de floración (variación total 1%, análisis AMMI). Basándose en el escalado por ambientes, todos los ambientes de alta densidad podrían ser adecuados para la producción de genotipos de girasol de un solo tallo. Estos resultados pueden suponer un avance en el cultivo de girasoles ornamentales como flor cortada (Mladenović et al., 2020).

En tres tipos de suelos, la evaluación de tres densidades de población (4, 8 y 12 plantas m⁻²) y tres niveles de nitrógeno (0, 50 y 100 kg ha⁻¹), mostró que, en los tres suelos la densidad de 12 plantas m⁻² incrementó el área del capítulo, peso de 100 semillas, rendimiento de grano, la biomasa total y el índice de cosecha en comparación a las otras densidades en todos los niveles de nitrógeno. Además, la combinación de 12 plantas m⁻² fertilizada con 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno

aumentó la producción de biomasa y el rendimiento en los tres suelos en comparación a los demás tratamientos (Arenas Julio et al., 2021).

En Irán, un estudio evaluó cuatro densidades de plantas (D50= 50000, D60= 60000, D70= 70000 y D80= 80000 planta ha⁻¹) combinadas cuatro tratamientos de fertilización (N₀P₀K₀, N₂₃P₂₅K₂₅, N₄₆P₅₀K₅₀ y N₆₉P₇₅K₇₅). Los resultados indicaron que hubo una diferencia significativa en el rendimiento de grano, el rendimiento biológico, el rendimiento de grano y aceite y el rendimiento biológico individual. Las D50 y D80 tuvieron el menor y mayor rendimiento de grano con 5666 y 3633 kg ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento biológico en el D60 fue el más bajo, pero en el D80 fue el más alto con 10853 y 16460 kg ha⁻¹, respectivamente. Los D60 y D50 tuvieron el rendimiento biológico individual más bajo y más alto con 180.90 y 225.90 g planta⁻¹, respectivamente (Modanlo et al., 2021).

El espaciamiento entre plantas (PS) y los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) pueden maximizar los rasgos de rendimiento y la eficiencia de uso del nitrógeno (NUE) del girasol. El rendimiento de semilla mejoró al aumentar los niveles de N y P y disminuir los de PS. La PS tuvo un efecto cuadrático sobre el contenido de aceite. Los niveles optimizados de los factores para obtener los valores deseables de las respuestas fueron 62,3, 30,8 y 41,5 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente y PS de 15 cm, dando como resultado 3797 kg ha⁻¹ de producción de semilla y 24,8 kg⁻¹ de NUE (Mehrparvar et al., 2021).

En algunas regiones de la provincia de Kermanshah, el girasol (cultivar local Songhori) se cultiva con una densidad muy baja (1-3 plantas por metro cuadrado). El propósito de evaluar siembras de 60 cm entre hileras y de 20, 40 y 60 cm entre plantas reveló que, al aumentar la densidad, el diámetro del tallo, el diámetro de la cabeza, el número y el peso de las semillas por cabeza y el peso de 1000 semillas y el porcentaje hueco de la cabeza, se aumentó el número de días hasta la floración. El mayor y menor rendimiento de grano perteneció a espaciamientos entre plantas de 40 cm y 20 cm con 4599 y 3538 kg ha⁻¹, respectivamente (Rezaizad et al., 2022).

El girasol se ha convertido en un cultivo importante tanto para los agricultores en Sudán y se considera el cultivo comercial más importante del país. La investigación de la influencia de tres espaciamientos entre plantas (10 cm, 20 cm y 30 cm) revelaron que el espaciamiento entre hileras de 30 cm tuvo un diámetro de tallo más grueso, un mayor número de semillas por cabeza, peso de 100 semillas, rendimiento de semillas por planta y rendimiento final de semillas (3,34 t ha⁻¹) (Ibrahim et al., 2023). La densidad de siembra desempeña un factor importante en la producción

de biomasa (materia seca) en el cultivo del girasol. Un meta análisis mostró que la producción de biomasa de la parte aérea de las plantas de girasol es altamente dependiente de la densidad de siembra (Friedman, 2024).

En Tandojam, evaluó tres espaciamientos de plantas de girasol, recomendada (55.555 plantas ha⁻¹), alta densidad (66.666 plantas ha⁻¹) y ultra alta densidad (83.333 plantas ha⁻¹). Los resultados mostraron que la densidad recomendada (55.555 plantas ha⁻¹) produjo mejores resultados basados en plantas individuales, pero debido a la menor población de plantas el rendimiento fue menor que las otras dos densidades (alta densidad y ultra alta densidad), el rendimiento general de semillas fue mayor en siembras de alta densidad comparados con las densidades recomendada y ultra alta. La ultra alta densidad no resultó beneficioso debido a la población de plantas abarrotada donde el índice de cosecha se volvió deficiente pero el rendimiento biológico aumentó con respecto a la densidad recomendada (Raj et al., 2024). En la región Noroeste de Brasil, la adaptabilidad y estabilidad de 14 genotipos de girasol se evaluó en dos espaciamientos entre hileras (0,45 y 0,90 m). El espaciamiento de 0,90 m proporcionó un mayor tamaño de capítulo, pero mostró disminuciones en el rendimiento de 0,64 t ha⁻¹ en comparación con el espaciamiento de 0,45 m. El espaciamiento entre hileras no influyó en las variables altura de planta y diámetro de tallo para los diferentes cultivares de girasol (Seibert et al., 2024).

1.6 Requerimientos nutricionales del cultivo del girasol

Debido a la elevada capacidad del sistema radicular del girasol para extraer nutrientes, este no es muy exigente en cuanto al abonado, las dosis de abono se ajustarán en función de los elementos nutritivos del suelo y del régimen de precipitaciones y de riegos. La absorción de nutrientes se concentra en los primeros estadios de desarrollo de la planta, es un cultivo muy sensible a la toxicidad por aluminio, dificultando su desarrollo radicular y como consecuencia en la parte aérea aparecen síntomas de estrés hídrico o carencia de otros nutrientes como fósforo o magnesio. El déficit de nitrógeno es una de las causas del descenso de los rendimientos en el cultivo del girasol, es un elemento necesario para el crecimiento, diferenciación y desarrollo de sus órganos. El exceso de nitrógeno reduce de forma sustancial el aceite de la semilla, pero sin embargo incrementa el contenido en proteínas (Farweez et al., 2020).

El girasol generalmente responde positivamente a la fertilización con nitrógeno y fósforo. Así, es crucial establecer un programa de fertilización basado en análisis de suelos, especialmente en áreas donde existe escasez de estos elementos. Este tipo de análisis no solo guiará hacia niveles

de fertilización más adecuados, sino que a la vez reducirá significativamente los costos asociados con fertilización innecesaria (Modanlo et al., 2021). Sin embargo, la deficiencia de nitrógeno tiene un impacto drástico para el crecimiento del girasol, dado que, la tasa de crecimiento se reduce considerablemente, las hojas adquieren un tono verde pálido y las hojas inferiores comienzan a marchitarse. La cantidad óptima de nitrógeno para un buen desarrollo es alrededor de 80 kg ha^{-1} (de Souza et al., 2023).

La influencia del tipo de suelo, nitrógeno y biofertilizante sobre la fenología, biomasa total, rendimiento de grano y sus componentes en el cultivo de girasol cv. Victoria, se estudió se realizó en el Colegio de Postgraduados. Para los suelos en estudio se encontró que la fertilización nitrogenada y el biofertilizante no modificaron el tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas, pero sí se observó un cambio en la biomasa total y rendimiento de grano, donde la mayor producción se registró con la aplicación de nitrógeno a 100 kg ha^{-1} y la inoculación del biofertilizante, lo que a su vez generó el mayor ingreso neto, en el suelo con la salinidad más baja (Arenas Julio et al., 2021).

Los ensayos de campo en tres 3 regiones diferentes de Turkia detectaron los siguientes rangos; $109.67\text{-}307.00 \text{ kg ha}^{-1}$ para el rendimiento de grano, $9.33\text{-}12.33$ para el periodo de días de emergencia, $68.00\text{-}77.67$ para el periodo de días de floración, $76.00\text{-}168.00 \text{ cm}$ para la altura de la planta, $17.00\text{-}27.00 \text{ cm}$ para el diámetro de la cabeza, $7.33\text{-}8.72 \text{ gr}$ para el peso de 100 granos, $4.17\text{-}7.15 \text{ mm}$ para el diámetro de la semilla, $11090.88\text{-}14519.33$ piezas para el grano kg^{-1} . En consecuencia, los resultados de la presente investigación mostraron que, el valor más bajo fue de 11090 granos kg^{-1} , variedad PS4042 con aplicación de dosis de potasio de 7 kg ha^{-1} , mientras que el valor más alto fue de 14519 granos kg^{-1} y variedad VE3060 con aplicación de dosis de potasio de 5 kg ha^{-1} (Adalı & Onder, 2021).

El efecto del nitrógeno en girasol bajo suelos salinos, sobre las variables días a etapas fenológicas, biomasa total, índice de cosecha, rendimiento, tamaño del grano, número de granos, área del capítulo, número de granos por capítulo, la acumulación y distribución de materia seca. El cultivar Victoria Mejorado, se sembró en suelos con diferente nivel de salinidad (2 y 7 dS m^{-1}) y nitrógeno (0 y 100 kg ha^{-1}). La salinidad y nitrógeno no afectan las fases fenológicas, tamaño del grano, índice de cosecha y distribución de materia seca. La biomasa, rendimiento, número de granos, área del capítulo, número de granos por capítulo y la acumulación de materia seca en cada órgano de la planta se redujo por la elevada salinidad del suelo, sin embargo, la aplicación

de 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno generó una mayor acumulación de materia seca y rendimiento en girasol (Escalante-Estrada et al., 2022).

1.7 Beneficios de la biofertilización con compost de cachaza

El compost de torta de filtración (FCP) es un material residual y el principal residuo sólido de la producción de azúcar a partir de la caña de azúcar. Este material contiene altas concentraciones de polisacáridos y grasas (Rutman-Halili et al., 2020). También, la aplicación de compost de cachaza a 15 t·ha⁻¹ incrementa los niveles de materia orgánica, K y P en el suelo y el rendimiento de tallos y la calidad de los jugos (Quiroz Guerrero et al., 2011). Además, mejora la producción de plántulas (Berrospe-Ochoa et al., 2012), particularmente por el beneficio sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Quiroz Guerrero & Pérez Vázquez, 2013).

Estudiar las respuestas de crecimiento y rendimiento de dos variedades de caña de azúcar a la aplicación de compost de torta de filtración en el cultivo de caña de azúcar de tierras altas. Los resultados mostraron que el crecimiento y rendimiento de PS 862 fue mejor que el de PS 881, lo que se muestra en la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de tallos y la longitud de los entrenudos. El uso de compost de torta filtrante a una dosis de 5 toneladas ha⁻¹ fue más eficiente, pudiendo proporcionar una eficiencia de 0.097 toneladas por kg de caña a una dosis de 76.76% de fertilizante inorgánico (Wibisana et al., 2020).

Después de un año de aplicar el compost de cachaza, la cantidad de fósforo (P) y materia orgánica en el suelo se incrementa. Este bioproducto presenta una relación carbono-nitrógeno (C/N) estable, así como una baja cantidad de nitrógeno amoniacal (NH₄), lo cual permite que exista una cantidad de nitratos disponibles para la planta (Gameh et al., 2020). Los efectos favorables para el suelo indicaron que la aplicación de cachaza estimula el aumento de las reservas de materia orgánica del suelo, el carbono orgánico, el nitrógeno total y la cantidad de fósforo (Moreno-Escandón et al., 2021). Las características físico-químicas de tres compostas obtenidas por la mezcla de residuos avícolas y cachaza de la industria azucarera, como alternativa al uso de insumos minerales se desarrolló en Amatlán de los Reyes, Veracruz, México La mezcla de pollinaza y cachaza tuvo las concentraciones mayores de fósforo y magnesio y presentó una calidad alta para su uso como abono orgánico, por tanto, puede utilizarse como sustrato de cultivos agrícolas (Martínez et al., 2021).

Varios experimentos de campo durante las temporadas de verano/otoño e invierno/primavera de 2019 y 2021 en Sudáfrica se realizaron para estudiar los efectos de mejora de la sequía y el

impacto de dos desechos orgánicos disponibles localmente (torta de filtración, un residuo derivado de la filtración de caña de azúcar (FC) y compost de cáscara de macadamia (MHC)) en la productividad y las respuestas fisiológicas de cuatro cultivares de papa anaranjada (Beauregard cv., Impilo, W-119 y 199062.1). Los resultados indicaron que en todos los cultivares de papa, la torta de filtración incrementó el rendimiento respecto a MHC y puede atribuirse a su rica gama de nutrientes minerales como calcio, magnesio, potasio, sodio, zinc, cobre, manganeso, hierro y fósforo (Fatokun et al., 2022).

Por otra parte, el compost de cachaza cuando es aplicado en el campo disminuye la compactación causada por la maquinaria que se utiliza al momento de la cosecha. Así, que la aportación de vermicomposta derivada de cachaza disminuyó la densidad aparente del suelo, fomentó la formación de agregados estables en agua y promovió una estructura granulada y menos compacta del suelo. Cuando el suelo dispone de material orgánico en forma de cachaza, éste aumenta su capacidad de almacenaje de agua (Rosas & Bendezú, 2023). La eficiencia de la fertilización de cuatro dosis (40, 80, 120 y 160 kg N ha⁻¹) de compost de cachaza en el crecimiento de maíz dulce mostró un mayor rendimiento de crecimiento vegetativo, eficiencia de uso del nitrógeno y la calidad del suelo. Además, fue más eficiente en la absorción de N, la absorción de potasio y la recuperación de potasio, demostrando valores de 42,56%, 918% y 115,4%, respectivamente (Wibisono et al., 2023).

Un experimento en macetas de invernadero se realizó para investigar la influencia de la aplicación combinada de torta de filtración y compost de cáscara de macadamia (FC+MHC) sobre la fertilidad del suelo y la partición de la materia seca de los cultivares Beauregard y 199062.1 de boniato de pulpa anaranjada. Los resultados indicaron que todos los tratamientos alteraron positivamente la fertilidad del suelo. Hubo indicios de que tanto la torta de filtración como el compost de cáscara de macadamia inhibieron la absorción de hierro (Fe), cobre (Cu) y aluminio (Al). Además, se corrigieron las deficiencias de zinc (Zn) y fósforo (P) en el suelo inicial después de la aplicación de los residuos orgánicos. En términos de rendimiento, FC+MHC fue mejor que todos los demás tratamientos (Fatokun et al., 2023).

Este estudio se llevó a cabo para evaluar la fertilidad del suelo de arroz y el efecto de fertilizantes inorgánicos combinados con tortas de filtración de caña de azúcar en el rendimiento del arroz en un área de dique protegida en el distrito de Cho Moi, China. Al analizar el contenido de nutrientes de las muestras de suelo, se encontró que los fertilizantes inorgánicos en combinación con los

residuos de caña de azúcar mejoraron la fertilidad del suelo, ya que redujeron la acidez del suelo y la conductividad eléctrica, y aumentaron la materia orgánica, el contenido de nitrógeno total y el K intercambiable. Además, el intercambio y el Mg intercambiable enriquecido lograron el mayor rendimiento de arroz, una diferencia estadísticamente significativa en comparación con el tratamiento con abono orgánico con compost de paja y fertilizante inorgánico (Minh et al., 2023). Un experimento de campo se llevó a cabo para estudiar cómo el lodo filtrante de la caña de azúcar, en combinación con dos fuentes de compost, afectaba el crecimiento y rendimiento del maíz dulce (*Zea mays* var. *saccharata*). Los resultados destacaron que todos los parámetros de crecimiento y rendimiento del maíz se beneficiaron más del compost de residuos domésticos que del compost de paja. Además, la adición de lodo de filtro de azúcar al compost aumentó aún más el rendimiento del cultivo (Salman et al., 2023).

La aplicación de torta de filtración sola o en combinación con algunos fertilizantes químicos en la preparación del suelo y dos etapas de riego, se evaluó sobre algunas características de la caña de azúcar en Irán. Los resultados mostraron que la aplicación de torta de filtración y urea produce 671292 yemas por hectárea, 757542 macollos por hectárea y 857,55 g de peso individual del tallo, los cuales fueron 60, 78,4 y 41,35% superiores a la no aplicación de enmienda orgánica y urea, respectivamente. La aplicación de torta de filtración, la combinación de bagazo + torta de filtración y bagazo con urea incrementó el rendimiento en 54, 31.2 y 13.3 %, respectivamente, en comparación con el control. El rendimiento obtenido fue igual a 135.1, 120.1 y 99.4 toneladas por hectárea, respectivamente (Yarahmadi et al., 2023).

En este capítulo, una revisión actualizada se realizó sobre la base del origen, importancia del cultivo y producción de girasol agroindustrial de varios países del mundo, incluido Cuba. Además, se revisaron las características fisiológicas del cultivo, así como sus fases de crecimiento y su desarrollo. También, se abordó sobre los conocimientos actuales de los métodos de siembra y la importancia de la densidad de población en el crecimiento y productividad del girasol. Por último, se actualizaron los supuestos del conocimiento actual sobre el efecto benéfico de la aplicación de vermicompost de cachaza como una estrategia de fertilización orgánica para mejorar las propiedades de los suelos y el rendimiento de cultivos económicos importantes como la caña de azúcar, maíz, boniato, papa y tomate.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Determinación de los posibles problemas que pudieran intervenir en la productividad del girasol

Se utilizó el diagrama el método gráfico de causa-efecto o de Ishikawa para relacionar los problemas o efectos con los factores o causas que posiblemente lo generan. Este diagrama obliga a contemplar todas las causas que pueden afectar el problema bajo análisis y de esta forma se evita el error de buscar directamente las soluciones sin cuestionar a fondo cuales son las verdaderas causas. También, este método implica construir el diagrama de Ishikawa, que directamente vincula las causas potenciales del problema con la idea de atacar causas reales y no consecuencias o reflejos. Esta es una herramienta efectiva para estudiar procesos y situaciones y para desarrollar un plan de recolección de datos. Se debe utilizar cuando se pueda contestar “sí” a una o las dos preguntas siguientes: ¿Es necesario identificar las causas principales de un problema? o ¿Existen ideas y/u opiniones sobre las causas de un problema?

2.2 Metodología de desarrollo de la herramienta del Método de Experto

2.2.1 Proceso de selección de los expertos

Se utilizó la metodología propuesta por Hurtado de Mendoza (2003) para la selección de los expertos. Se confeccionó un listado inicial de 10 personas posibles de cumplir los requisitos para ser expertos en la materia a tratar. A partir de una entrevista a estas 10 personas, a las cuales se les brindó igual nivel de información sobre el problema a tratar en este trabajo, se realizó una medición cuantitativa de cada uno de los criterios emitidos, los cuales se agruparon en grupo de utilidad o importancia relativa. Posteriormente se calculó el Coeficiente de Conocimiento o Información (Kc), a través de la fórmula siguiente:

$$Kc = n(0,1)$$

Donde. Kc: coeficiente de conocimiento o información; n: rango seleccionado por el experto.

Se determinó el Coeficiente de Argumentación (Ka) de cada experto por la fórmula:

$$Ka = n_i = (n_1 + n_2 + n_3 +n_n)$$

Donde. Ka: coeficiente de argumentación; ni: valor correspondiente a la fuente de argumentación.

Luego se determinó el valor del Coeficiente de Competencia (K) para definir cuál experto fue más idóneo para analizar la problemática de este trabajo.

Este coeficiente (K) se calculó por la expresión:

$$K = \frac{1}{2}(Kc + Ka)$$

Donde. K : coeficiente de competencia; Kc : coeficiente de conocimiento; Ka : coeficiente de argumentación.

Posteriormente, se hizo la valoración siguiente:

0,8 < K < 1,0: indica Coeficiente de Competencia Alto
 0,5 < K < 0,8: indica Coeficiente de Competencia Medio
 K < 0,5: indica Coeficiente de Competencia Bajo

Para determinar el número de expertos se utilizó la siguiente ecuación:

$$M = \frac{p(1-p)k}{i^2}$$

Donde M : cantidad necesaria de expertos, p : proporción estimada de errores de los expertos, i : nivel de precisión deseada en la estimación, k : constante asociada al nivel de confianza elegido la cual se determina por la siguiente ecuación:

$$k = (Z_{\alpha/2})^2$$

Donde $(Z_{\alpha/2})^2$: percentil de la distribución Normal para $(1-\alpha)$ cuyos valores se presentan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Valores percentiles de la distribución Normal $(1-\alpha)$.

$(1-\alpha)$	α	$\alpha/2$	$Z_{\alpha/2}$	$(Z_{\alpha/2})^2$
0,90	0,10	0,05	1,64	2,6896
0,95	0,05	0,025	1,96	3,8416
0,99	0,01	0,005	2,58	6,6564

2.2.2 Evaluación de la opinión de los expertos

De la opinión de los expertos se seleccionaron las principales causas que afectan la producción de cebolla, cuyo consenso entre los expertos para definir estas causas como las de mayor peso, fue determinado por el **Coeficiente de concordancia de Kendall**:

$$W = \frac{12 * \sum \Delta^2}{M^2 * (K^3 - K)} ; 0 \leq W \leq 1$$

Donde W : coeficiente de concordancia de Kendall, M : número de expertos, K : número de deficiencias que se analizar para dar prioridad, $\Sigma\Delta^2$: suma de los cuadrados de las desviaciones del valor medio de los juicios emitidos por la siguiente expresión:

$$\Delta = \sum_{j=1}^m R_{ij} - \tau$$

Donde $\sum R_{ij}$: suma de rangos asignados a cada deficiencia, según la escala establecida, τ : rango teórico que se obtiene según la expresión:

$$\tau = \frac{1}{2} * (K + 1) * M$$

2.3 Experimentación a escala de campo. Localización y material vegetal

El experimento se desarrolló en las áreas de la finca Estatal de la Empresa Agroindustrial “Melanio Hernández”, municipio de Taguasco, provincia de Sancti Spiritus, Cuba. Las semillas de girasol, variedad 'Caburé-15' fue obtenida en la Empresa Provincial de semillas, con un 98% de germinación.

La siembra se realiza en época lluviosa a partir del 15 de enero de 2024. La siembra de las semillas se ejecutó de forma manual en el fondo del surco y se depositaron de dos a tres semillas por golpe, de acuerdo a las distancias de siembras preparadas. A los 10 días posteriores a la germinación se realizó un desbaste para eliminar la abundancia de plantas y dejar una planta por sitio. El tipo de suelo predominante es Pardo Sialítico (Hernández et al., 2015) Cambisol (IUSS-WRB, 2022). Las medias diarias de temperatura, humedad relativa y precipitaciones durante la duración del experimento pueden observarse en la figura 1.

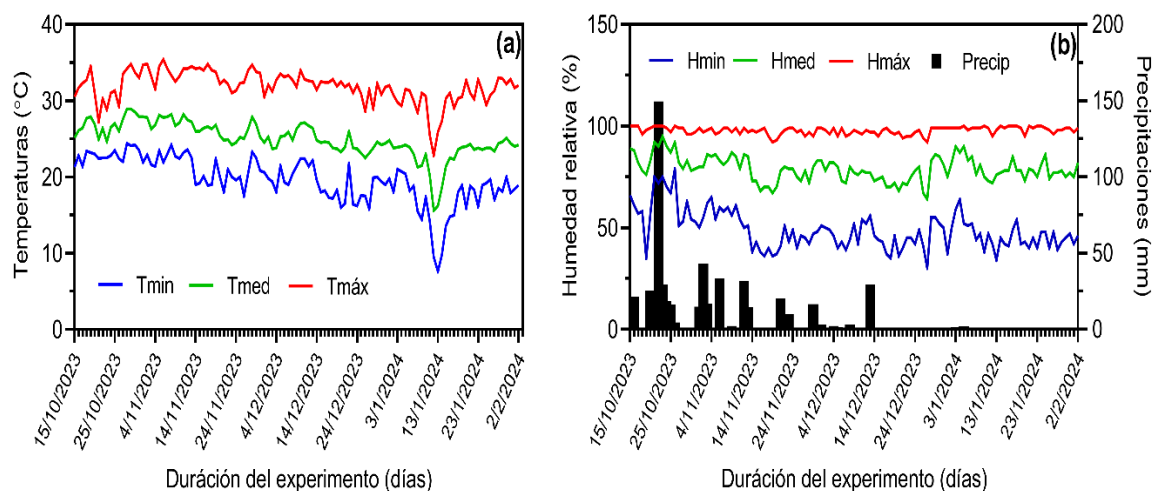


Figura 1. Promedio diario de las variables climáticas, (a) Temperatura mínima (T_{\min} , °C), temperatura media (T_{med} , °C) y temperatura máxima (T_{\max} , °C) y (b) humedad relativa (Hr; %) y precipitaciones (mm).

Las labores fitotécnicas (control de plagas, limpieza, entre otras) se realizan según la Guía para el cultivo (MNAG, 2020), con modificaciones en la fertilización (sin la adición de fertilizantes químicos).

2.4 Diseño experimental

El diseño experimental adoptado será en parcelas divididas, distribuidas en bloques al azar con tres réplicas (Ver esquema 3.2). Los factores estudiados son dos densidades de plantas (D1, 20000 plantas ha^{-1}) y (D2, 40000 plantas ha^{-1}) y tres dosis de compost de cachaza [0 (sin cachaza), 2 y 4 t ha^{-1}].

Esquema 3.2 Esquema del diseño experimental

D1 20000 plantas ha^{-1}	D2 40000 plantas ha^{-1}	Réplicas
Sin cachaza	2 t ha^{-1}	I
2 t ha^{-1}	4 t ha^{-1}	
4 t ha^{-1}	Sin cachaza	
4 t ha^{-1}	4 t ha^{-1}	II
Sin cachaza	Sin cachaza	
2 t ha^{-1}	2 t ha^{-1}	
2 t ha^{-1}	Sin cachaza	III
4 t ha^{-1}	2 t ha^{-1}	
Sin cachaza	4 t ha^{-1}	

2.5 Aplicación del compost de cachaza

El compost de cachaza se obtuvo gratuitamente en el centro de compostaje perteneciente a la Empresa “Melanio Hernández”. El CH se aplicó en el fondo del surco a las dosis mencionadas posteriormente a la siembra y seguidamente se procedió con el tape de la semilla.

2.6 Determinación de las variables

2.6.1 Parámetros del crecimiento

En cada parcela, a los 20 y 40 días después de la emergencia (DDE), se muestrean 10 plantas al azar del área útil para obtener los siguientes parámetros:

❖ Altura de planta (AP, cm): se realiza desde la base del tallo hasta el ápice apical, con apoyo de una regla graduada.

- ❖ Numero de hojas: se realiza por conteo directo en las hojas mayores de 4 cm de longitud
- ❖ Contenido de clorofila (CC, valores SPAD) y temperatura de la hoja (TH): se determinan con un medidor de clorofila portátil (modelo TYS-B, China).

2.6.2 Parámetros productivos

- ❖ Diámetro de capítulo (DC, cm): se realiza cuando el capítulo tenga 2/4 de apertura, con la ayuda de una regla graduada, expresando los valores obtenidos en centímetros.
- ❖ Total de semillas por capítulo (TS): se realizó por conteo directo.
- ❖ Semillas llenas por capítulo (SLL): se realizó por conteo directo.
- ❖ Semillas vacías por capítulo (SLL): se realizó por conteo directo.
- ❖ Porcentaje de semillas llenas por capítulo (%SLL): se determinó por la siguiente formula:

$$\%SLL = \frac{SLL}{TS} * 100$$

- ❖ Masa de las semillas por capítulo (MS, g): todas las semillas colectadas en cada capítulo se pesaron en balanza digital (modelo BS 124S y precisión $\pm 0,01$ g).
- ❖ Rendimiento (Rto, t ha⁻¹): se determina con la masa promedio de los aquenios y el número de plantas ha⁻¹.

2.7 Materiales y equipos

Durante el desarrollo del experimento se utilizaron varios materiales, equipos y materias primas, los cuales se relacionan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Materiales, equipos y materias primas utilizadas en la investigación

Materias primas		Materiales	Equipos
Suelo	Suelo		Balanza digital (modelo BS 124S, China)
Semillas de girasol	Regla graduada		Medidor de clorofila portátil (modelo TYS-B, China)
ME-50 [®] (Labiofam, Sancti Spíritus)	Cinta métrica		Pulverizador costal de presión retenida (Matabi, 16 L, Goizper Group, España)
	Azadón		
	Arado de vertedera		

2.8 Análisis de los datos

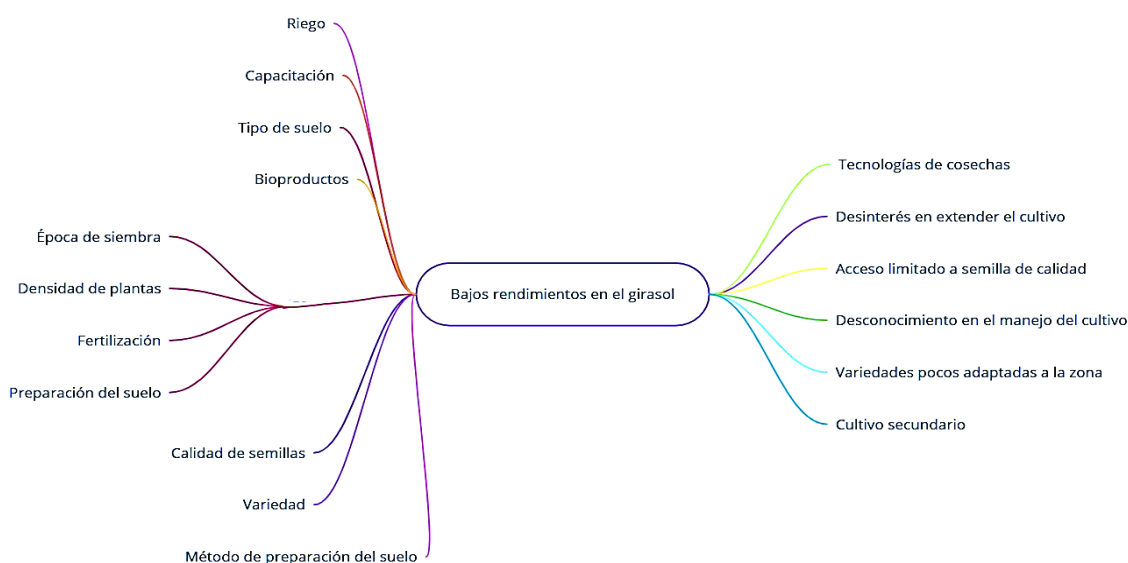
Los datos obtenidos serán sometidos a los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Después de verificados los supuestos anteriores, se realizó un ANOVA de dos vías y cuando la prueba de Fisher (F) fue significativa ($p < 0,05$),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

En este capítulo, se expusieron de forma clara la localización y las condiciones donde se realizó el estudio. También, se describe claramente el diseño experimental, los tratamientos y el tamaño de las parcelas. Asimismo, se relataron las variables evaluadas, momentos evaluados, instrumentos utilizados y los supuestos y pruebas estadísticas realizadas, además de mencionar el software utilizado para validar los resultados. Finalmente, esta sección quedó descrita de manera detallada, para que la investigación pueda ser replicada o reproducida por los investigadores.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Principales problemas que intervienen en la producción de girasol

Los problemas primarios y secundarios, así como los efectos en la producción de girasol en la zona de estudio se identificaron por los expertos seleccionados (Esquema 3.1). El conocimiento de los expertos mostró que este cultivo no es de lo más priorizados y de baja producción en la zona, debido a las causas primarias siguientes: época de siembra, densidades de plantas, fertilización y preparación del suelo. Las causas secundarias se derivan de las primarias y sin dudas genera una serie de problemas y afectaciones que manifiestan el bajo desarrollo del cultivo en la zona.



Esquema 3.1. Diagrama de causa-efecto la producción de girasol en la zona de Tuínucu, Taguasco.

3.2 Aplicación del método de expertos sobre el conocimiento de la utilización de la DP y la aplicación de CH en el cultivo de girasol

El conocimiento de las DP en la zona proviene de algunos cultivos que se propagan de semillas como arroz, frijol, entre otras, lo que más predomina es la plantación de cultivos como plátano, yuca, boniato, tomate y otras hortalizas. En consecuencia, la importancia de la DP es que influye directamente en el crecimiento y rendimiento del cultivo; además, influye en el crecimiento de las arvenses, disminuye las labores de cultivos y los costos de producción. En efecto, el girasol constituye un nuevo cultivo, que propicia nuevos conocimientos, nuevas prácticas y experiencias que favorecen la diversificación de cultivos, la mejora de los suelos, reducción de costos de

producción y genera productos como aceite comestible y los residuos del aceite puede utilizarse en la alimentación animal. Por lo tanto, este cultivo puede conducir al establecimiento de nuevas prácticas que reducen la contaminación ambiental, mejoran la salud humana y favorece la producción de alimentos sanos.

Las experiencias en la producción de caña en la zona establecen un conocimiento del sistema de producción convencional. Sin dudas, esto desfavorece el establecimiento de prácticas agrícolas que favorecen el cuidado y protección del suelo y aumentar la productividad de las plantas. En este sentido, el compost de cachaza es un biofertilizante que promueve la fertilidad del suelo, estimula el rendimiento de los cultivos y disminuye el empleo de los fertilizantes agroquímicos, lo que constituye una estrategia amigable para el medio ambiente y reducir costos por sustitución de importaciones, pero los efectos potenciales, dosis y otros beneficios de este biofertilizante deben ser más explotados en la zona, ya que cuentan con un centro de compostaje de cachaza. Por lo tanto, la utilización de DP adecuadas y la aplicación de compost de cachaza en la producción de girasol, puede ser una alternativa eficiente, viable y amigable para productores de la zona y la región, favoreciéndose la diversificación de cultivos, la fertilidad de los suelos y la sustitución de importaciones debido a la reducción de los agroquímicos.

3.3 Efecto de los tratamientos en el crecimiento de las plantas de girasol

La altura de la planta (AP) mostró interacción significativa entre la parcela principal (DP) y las parcelas secundarias (CC) a los 20 y 40 DDE ($p < 0,01$) (Figura 2a, b). La AP de las plantas de girasol a los 20 y 40 DDE en ambas evaluaciones fue significativamente superior en la DP de 40000 plantas ha^{-1} comparado con la DP de 20000 plantas ha^{-1} , sin embargo, en la DP de 20000 plantas ha^{-1} las dosis de 2 y 4 t ha^{-1} de compost de cachaza mostraron efectos similares en el NH y fueron significativamente superiores al tratamiento sin adición de compost de cachaza (0 t ha^{-1}), mientras que, en la DP de 40000 plantas ha^{-1} la dosis 4 t ha^{-1} aumentó el NH en comparación con las dosis de 0 y 2 t ha^{-1} , aunque, esta última dosis a la misma vez, exhibió mayores promedios en el NH comparados con el tratamiento de 0 t ha^{-1} (Figura 2a, b).

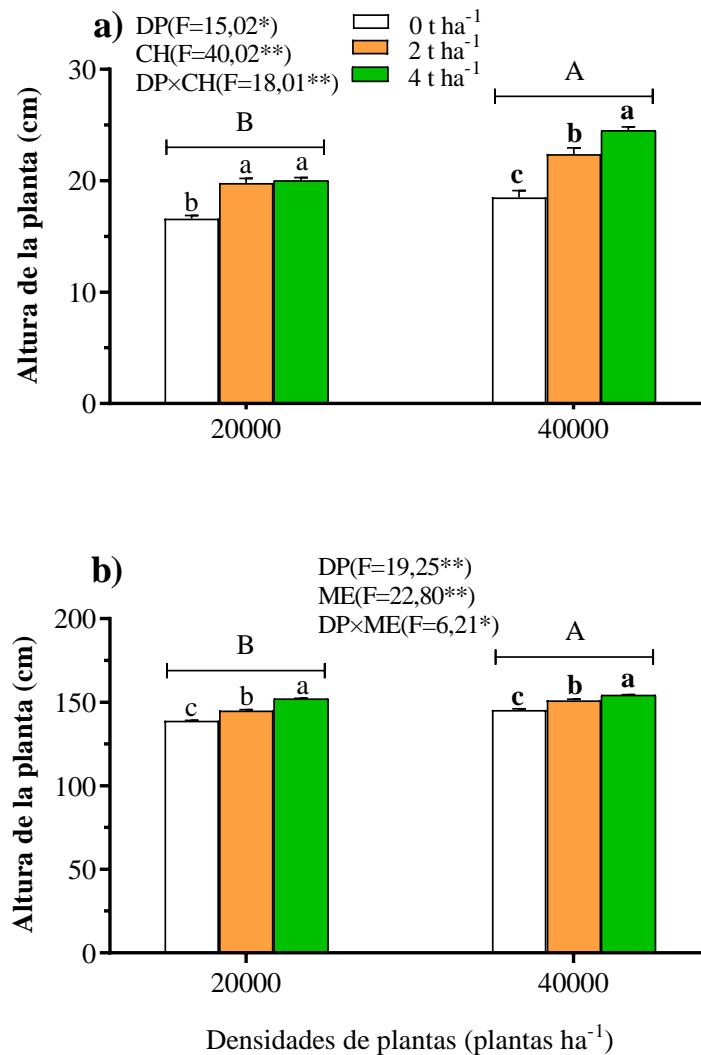


Figura 2. Altura de la planta a los 20 DDE (a) y a los 40 DDE (b), en las plantas de girasol en función de dos densidades de plantas (20000 y 40000 plantas ha⁻¹) y tres dosis de cachaza (0, 2 y 4 t ha⁻¹). Letras minúsculas normales (ejemplo: a, b, c) o negritas (ejemplo: **a**, **b**, **c**) indican diferencias significativas entre las dosis de compost de cachaza en las densidades de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹, respectivamente. Letras mayúsculas (ejemplo: A, B) indican diferencias significativas entre las densidades de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹ en la misma dosis de compost de cachaza, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

El NH de las plantas de girasol a los 20 DDE fue mayor en la DP de 40000 plantas ha^{-1} y con diferencias significativas en comparación a la DP de 20000 plantas ha^{-1} en la todos las dosis de CA, sin embargo, en las plantas no tratadas con cachaza la DP de 20000 plantas ha^{-1} fue superior a la DP de 40000 plantas ha^{-1} (Figura 3a). Por otra parte, la dosis de 4 t ha^{-1} mostró mayores promedios de NH en comparación con las plantas no tratadas y la dosis de 2 t ha^{-1} en ambas DP, pero al mismo tiempo, la dosis de 2 t ha^{-1} reveló mayores NH comparado con las plantas de girasol sin fertilizar con cachaza (Figura 3a). a los 40 DDE el NH en plantas de girasol fue relativamente superior en la DP de 40000 plantas ha^{-1} comparado con la DP de 20000 plantas ha^{-1} en todas las dosis con CC, sin embargo, la dosis de CC de 4 t ha^{-1} mostró incrementos en los promedios de NH en las dos DP en comparación con las dosis de 0 y 2 t ha^{-1} , no obstante, está última dosis al mismo tiempo incrementó aumentos significativos en las dos DP comparado con el tratamiento de 0 t ha^{-1} (Figura 3b).

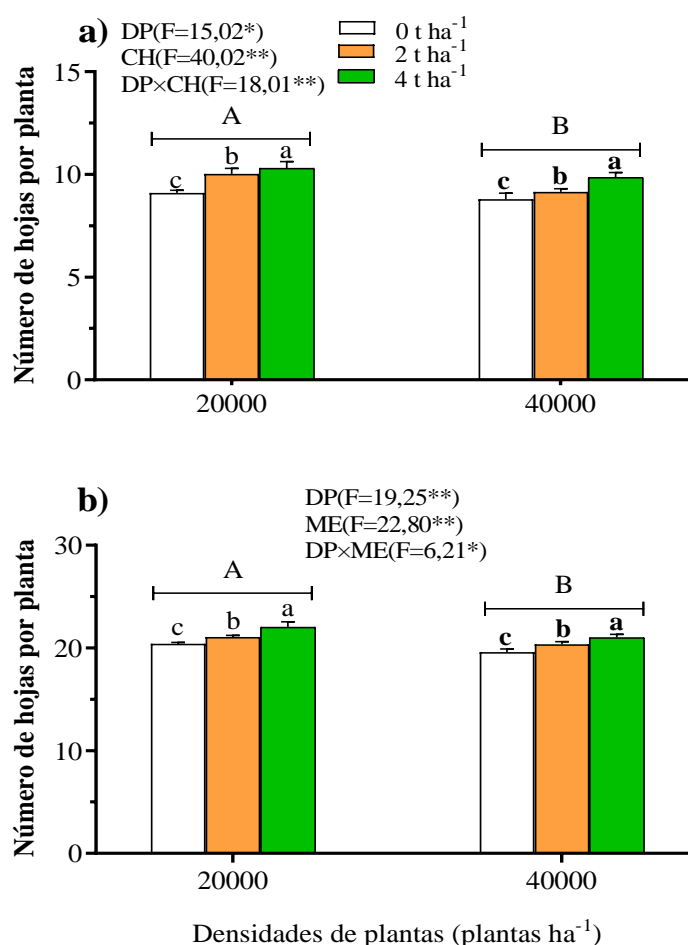


Figura 3. Número de hojas por planta a los 20 DDE (a) y a los 40 DDE (b), en las plantas de girasol en función de dos densidades de plantas (20000 y 40000 plantas ha^{-1}) y tres dosis de cachaza (0, 2 y 4 t ha^{-1}). Letras minúsculas normales (ejemplo: a, b, c) o negritas (ejemplo: **a**, **b**, **c**) indican diferencias significativas entre las dosis de compost de cachaza en las densidades de 20000 y 40000 plantas ha^{-1} , respectivamente. Letras mayúsculas (ejemplo: A, B) indican diferencias significativas entre las densidades de 20000 y 40000 plantas ha^{-1} en la misma dosis de compost de cachaza, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

A los 20 y 40 DDE el CC mostró interacción significativa entre los factores DP y CH (Figura 4). El CC en ambos momentos evaluados fue superior en la DP de 40000 plantas ha^{-1} respecto a la DP de 20000 plantas ha^{-1} en todos los tratamientos con CH (Figura 4a, b). Por otro lado, en ambas DP y ambos momentos evaluados, la dosis de 4 t ha^{-1} reveló mayores CC en relación a la no aplicación de cachaza y la dosis de 2 t ha^{-1} , pero esta última dosis a la misma vez exhibió valores superiores comparado con las no tratadas con cachaza (Figura 4a, b). El CC fue superior en la DP de 40000 plantas ha^{-1} respecto a la DP de 20000 plantas ha^{-1} en todos los tratamientos con cachaza (Tabla 1c). Por otro lado, en ambas DP, la dosis de 4 t ha^{-1} de CH reveló mayores CC en relación a las dosis de 0 y 2 t ha^{-1} , pero esta última dosis, a la misma vez exhibió valores superiores comparado con las plantas no tratadas con CA (Figura 4a, b).

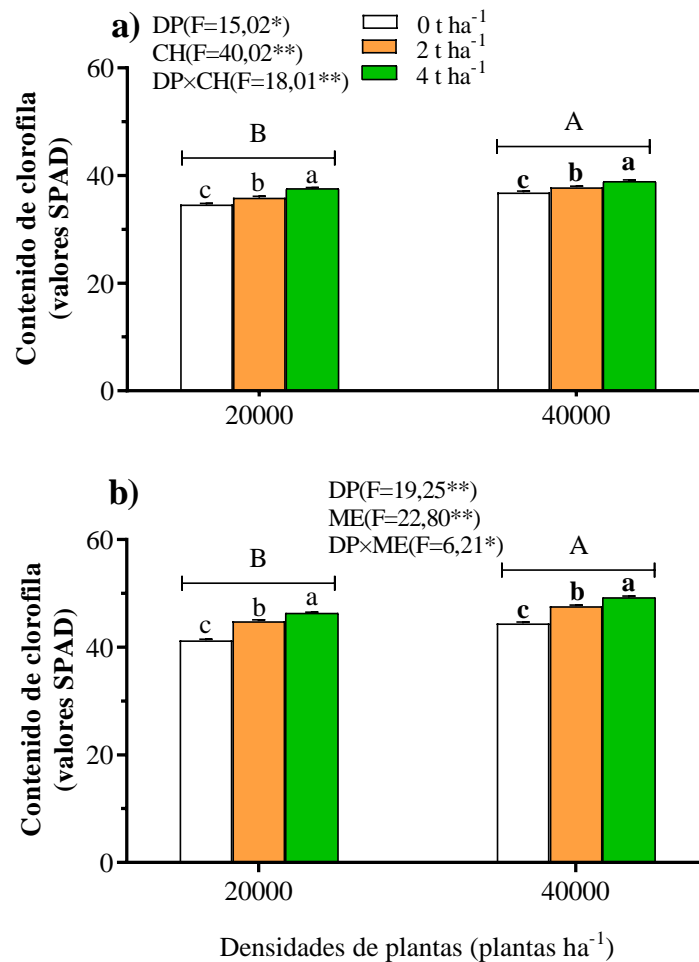


Figura 4. Contenido de clorofila a los 20 DDE (a) y a los 40 DDE (b), en las plantas de girasol en función de dos densidades de plantas (20000 y 40000 plantas ha⁻¹) y tres dosis de CH (0, 2 y 4 t ha⁻¹). Letras minúsculas normales (ejemplo: a, b, c) o negritas (ejemplo: **a**, **b**, **c**) indican diferencias significativas entre las dosis de CH en las densidades de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹, respectivamente. Letras mayúsculas (ejemplo: A, B) indican diferencias significativas entre las densidades de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹ en la misma dosis de CH, de acuerdo con la prueba de Tukey (p < 0,05).

Los resultados de esta investigación evidenciaron que las densidades de plantas y el CH mejoraron el crecimiento de las plantas de girasol, pero la combinación de ambos factores mejoró aún más el crecimiento del girasol. Estos resultados probablemente ocurrieron por efectos positivos en la AP, NH y CC (Figuras 1, 2 y 3). Los efectos positivos de la DP son debido a un

mayor aprovechamiento del agua, nutrientes y luz (Simón, Hurtado, & Carvalho, 2023). Resultados similares a los encontrados en este estudio fueron reportados anteriormente para el cultivo del girasol (Alberio et al., 2015). Similarmente, la densidad de población en el cultivo de girasol involucra varios factores cruciales, como la cantidad de precipitaciones disponibles, la calidad de la nutrición del suelo, el genotipo, calidad de la semilla y la separación entre hileras o surcos (Farweez et al., 2020). En áreas áridas, se recomienda aumentar la separación entre surcos, estableciendo un espacio de alrededor de 80 a 100 cm (Escalante-Estrada et al., 2022). Adicionalmente, la DP es mejora el crecimiento de las plantas siempre que exista un suministro suficiente de agua durante etapas críticas como la floración y maduración (Simón, Hurtado, Pérez, et al., 2023).

Efectos beneficiosos de la utilización adecuada de la DP en dos cultivares Victoria Mejorado y Sunbred de girasol fueron reportados en México, incrementadosé la acumulación de materia seca en los órganos de la planta y la biomasa total (Escalante Estrada et al., 2020). Un experimento de campo el aumento de la DP en el girasol aumentó la biomasa (Mouillon et al., 2020). Similarmente, la densidad de plantas 46666 plantas ha⁻¹ mostró mayor altura de la planta de girasol comparado con las densidades menores (Farweez et al., 2020). También, la densidad de plantación de 160000 plantas ha⁻¹mostró el efecto más importante sobre la circunferencia del tallo, el diámetro de la flor y la longitud del tallo (Mladenović et al., 2020).

Estudios recientes demostraron los efectos positivos de las densidades de plantas en el crecimiento de las plantas de girasol. Las distancias de siembras de 60 cm entre hileras aumentaron el diámetro del tallo, el diámetro de la cabeza, (Rezaizad et al., 2022). Similarmente, el espaciamiento entre hileras de 30 cm tuvo un diámetro de tallo más grueso, un mayor número de semillas por cabeza (Ibrahim et al., 2023). Estos hallazgos indican que, la DP desempeña un factor importante en la producción de biomasa (materia seca) y crecimiento en el cultivo del girasol (Friedman, 2024). También, el espaciamiento de 0,90 m proporcionó un mayor tamaño de capítulo, altura de planta y diámetro de tallo para los diferentes cultivares de girasol (Seibert et al., 2024).

Los efectos beneficiosos del CH en el crecimiento de las plantas fueron obtenidos anteriormente debidos a que incrementa los niveles de materia orgánica, K y P en el suelo (Quiroz Guerrero et al., 2011), sus altas concentraciones de polisacáridos y grasas (Rutman-Halili et al., 2020). Por otro lado, la aplicación de compost de cachaza mejoró las propiedades físicas, químicas y

biológicas del suelo (Quiroz Guerrero & Pérez Vázquez, 2013), aumentó la cantidad de fósforo (P) y materia orgánica en el suelo, presenta una relación carbono-nitrógeno (C/N) estable, así como una baja cantidad de nitrógeno amoniacal (NH_4), lo cual permite que exista una cantidad de nitratos disponibles para la planta (Gameh et al., 2020). Por lo tanto, estos estudios sugieren que el CH es una alternativa viable y sostenible para aumentar las propiedades de los suelos.

Recientemente, diversas investigaciones observaron los efectos positivos del CH en el crecimiento y desarrollo de diversos cultivos como el tomate (Berrospe-Ochoa et al., 2012), caña de azúcar (Wibisana et al., 2020), papa anaranjada (Fatokun et al., 2022), maíz (Wibisono et al., 2023), boniato (Fatokun et al., 2023), arroz (Minh et al., 2023), maíz dulce (*Zea mays* var. *saccharata*) (Salman et al., 2023).

Los efectos combinados de las DP y el CH han sido poco estudiados, por lo que este estudio representa la primera evidencia científica de los efectos positivos de la evaluación de los efectos positivos de la DP y CH en girasol. Estudios previos evaluaron los efectos combinados de densidades de plantas y fertilización química. En este contexto, el aumento de la DP y la fertilización nitrogenada elevaron la altura de la planta de girasol (Escalante Estrada et al., 2020). Otro estudio mostró un aumento en la producción de biomasa y la altura del tallo del girasol combinado DP con fertilizantes nitrogenados (Arenas Julio et al., 2021). También, la combinación de DP y NPK incrementaron significativamente la producción de biomasa (Modanlo et al., 2021). De esta misma manera, el espaciamiento entre plantas y los niveles de NPK pueden maximizaron el crecimiento y desarrollo de las plantas de girasol (Mehrparvar et al., 2021).

3.4 Efecto de los tratamientos en la productividad del girasol

El ANOVA bidireccional mostró interacción significativa entre los factores DP y CH en el DC de la variedad 'Caburé-15' de las plantas de girasol (Tabla 3.1). EL DC fue mayor en la DP de 20000 plantas ha^{-1} en todas las dosis de CH comparado con la DP 40000 plantas ha^{-1} , sin embargo, la dosis de 4 t ha^{-1} de CH reveló mayores promedios de DC en ambas DP comparado con las dosis de 0 y 2 t ha^{-1} , pero esta última dosis, al mismo tiempo exhibió incrementos significativos en el DC respecto a tratamiento de 0 t ha^{-1} de CH (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Diámetro del capítulo observado a los 110 DDE en las plantas de girasol en función de dos densidades de plantas (20000 y 40000 plantas ha⁻¹) y tres dosis de CH (0, 2 y 4 t ha⁻¹).

DP (plantas ha ⁻¹)	Compost de cachaza (t ha ⁻¹)	Diámetro del capítulo (cm)	
20000	0	26,95 c	A
	2	30,05 b	
	4	33,65 a	
40000	0	23,00 c	B
	2	28,75 b	
	4	32,45 a	
Prueba F	DP	143,21**	
	CH	537,89**	
	DPxCH	162,68**	

*Leyenda: DP: densidad de plantas; CH: compost de cachaza; DPxCH: interacción entre DP y CH. Letras minúsculas normales (ejemplo: a, b, c) o negritas (ejemplo: **a**, **b**, **c**) indican diferencias significativas entre las dosis de compost de cachaza en las densidades de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹, respectivamente. Letras mayúsculas (ejemplo: A, B) indican diferencias significativas entre las densidades de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹ en la misma dosis de CH, de acuerdo con la prueba de Tukey (p<0,05).

El total de semillas llenas (SLL) y vanas (SV) exhibieron interacción significativa (p<0,01) entre los factores DP y CH (Figura 5). La DP de 40000 plantas ha⁻¹ mostró un incremento significativo comparado con la DP de 20000 plantas ha⁻¹ en todas las dosis de CH; pero, los mayores promedios de SLL fueron alcanzados en la fertilización con 4 t ha⁻¹ de CH y 40000 plantas ha⁻¹ en relación a los demás tratamientos aplicados (Figura 5a). Adicionalmente, la DP de 40000 plantas ha⁻¹ mostró una reducción significativa en la SV comparado con la DP de 20000 plantas ha⁻¹ en todas las dosis de CH; sin embargo, los menores promedios de SV fueron obtenidos en el tratamiento de 4 t ha⁻¹ de CH y 40000 plantas ha⁻¹ en comparación con los demás tratamientos aplicados (Figura 5b).

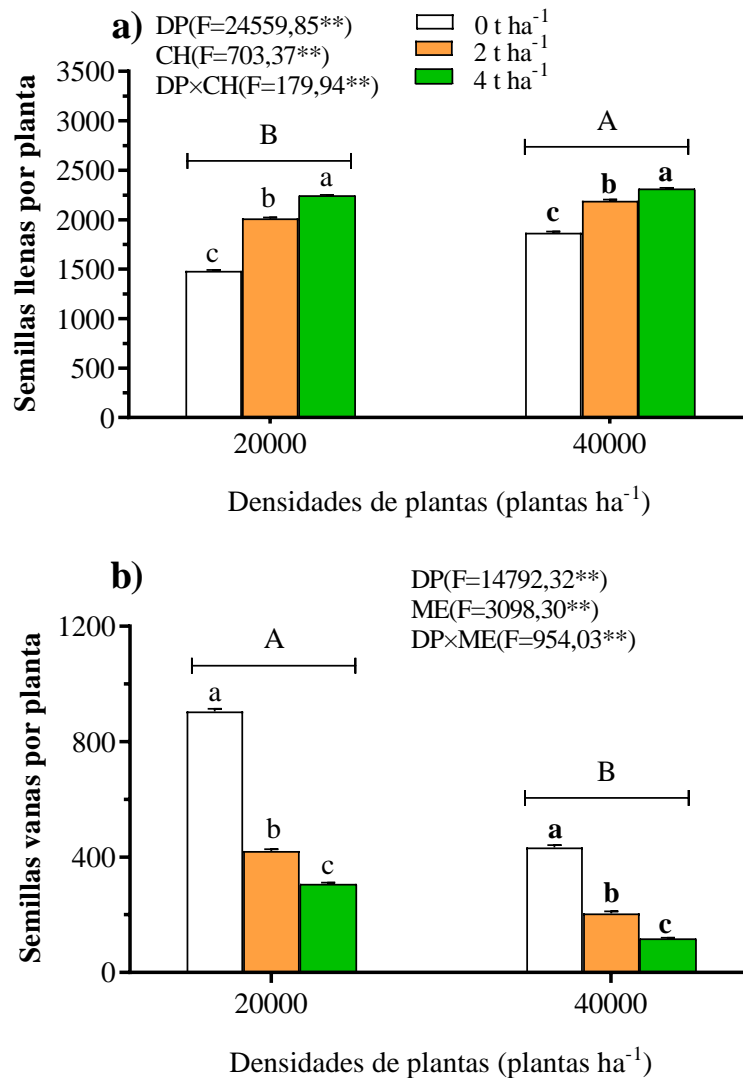


Figura 5. Totales de semillas llenas (SLL) y semillas vanas (SV) por capítulo observados a los 110 DDE en las plantas de girasol en función de dos DP (20000 y 40000 plantas ha⁻¹) y tres dosis de CH (0, 2 y 4 t ha⁻¹). Letras minúsculas normales (ejemplo: a, b, c) y/o negritas (ejemplo: a, b, c) indican diferencias significativas entre las dosis de CH en las DP de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹, respectivamente. Letras mayúsculas (ejemplo: A, B) indican diferencias significativas entre las densidades de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹ en la misma dosis de CH, de acuerdo con la prueba de Tukey (p<0,05).

El %SLL y TSP mostraron interacción significativa ($p<0,01$) entre los factores DP y CH (Figura 6). El %SLL aumentó significativamente en la DP de 40000 plantas ha^{-1} respecto a la DP de 20000 plantas ha^{-1} en todos los tratamientos con CH, mientras que, la fertilización con 4 t ha^{-1} de CH en la DP de 40000 plantas ha^{-1} exhibió los mayores promedios del %SLL en relación a los otros tratamientos estudiados ((Figura 6a). Además, la DP de 40000 plantas ha^{-1} mostró un incremento significativo en la TSP comparado con la DP de 20000 plantas ha^{-1} en todas las dosis de CH; sin embargo, los mayores promedios de TSP fueron alcanzados en el tratamiento de 4 t ha^{-1} de CH y 40000 plantas ha^{-1} comparado con los demás tratamientos aplicados (Figura 6b).

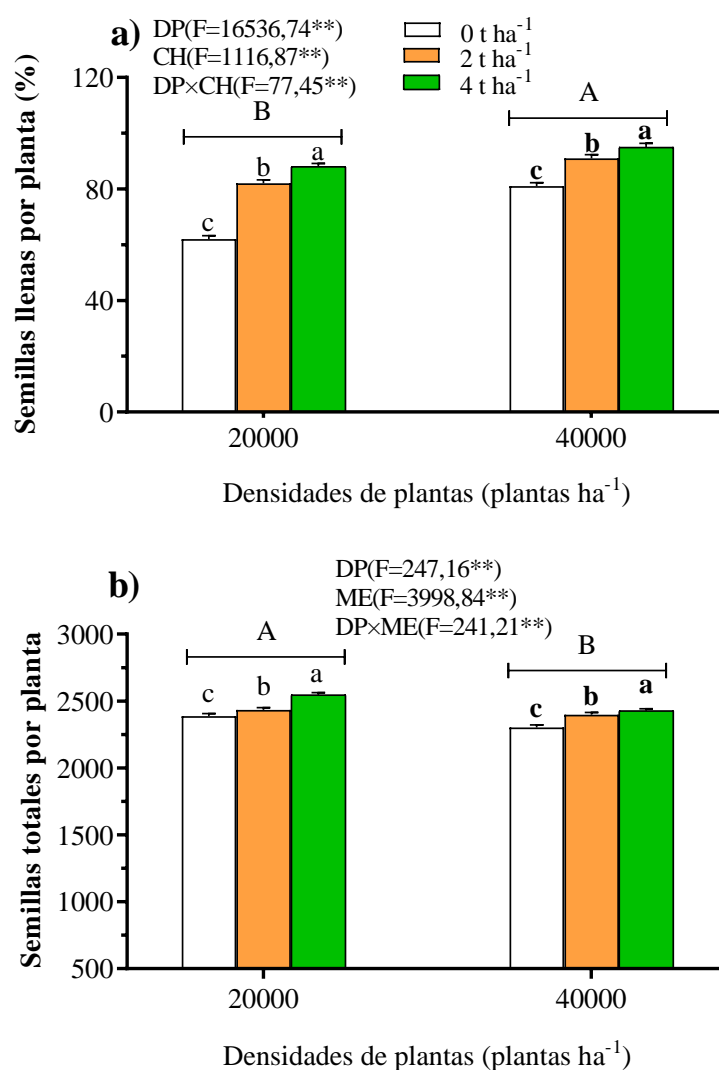


Figura 6. Semillas totales por planta (TSP), semillas llenas (SLL), semillas vanas (SV) y porcentaje de semillas llenas por capítulo (%SLL) observados a los 110 DDE en las plantas de girasol en función de dos DP (20000 y 40000 plantas ha^{-1}) y tres dosis de CH (0, 2 y 4 t ha^{-1}). Letras minúsculas normales (ejemplo: a, b, c) y/o negritas (ejemplo: a, b, c) indican diferencias significativas entre las dosis de CH en las DP de 20000 y 40000 plantas ha^{-1} , respectivamente. Letras mayúsculas (ejemplo: A, B) indican diferencias significativas entre las densidades de 20000 y 40000 plantas ha^{-1} en la misma dosis de CH, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

El ANOVA bidireccional reveló interacción significativa entre los factores DP y CH en la MS ($p < 0,01$) y el Rto ($p < 0,01$) de las plantas de girasol (Figura 7). La MS fue relativamente superior en la DP de 20000 plantas ha^{-1} en todas las dosis de CH en comparación a la DP de 40000 plantas ha^{-1} , mientras que, la dosis de 4 t ha^{-1} de CH en ambas DP fue significativamente superior a las dosis de 0 y 2 t ha^{-1} de CH, aunque, la dosis de 2 t ha^{-1} de CH mostró incrementos significativos en la MS comparado con el tratamiento con 0 t ha^{-1} de CH (Figura 7a). El Rto de manera general, la DP de 40000 plantas ha^{-1} reveló mayores promedios comparado con la DP de 20000 plantas ha^{-1} . Asimismo, la fertilización con 4 t ha^{-1} de CH reveló en ambas DP incrementos significativo en el Rto respecto a los tratamientos con 0 y 2 t ha^{-1} de CH, pero este último tratamiento al mismo tiempo mostró incrementos comparado con el tratamiento sin CH (Figura 7b).

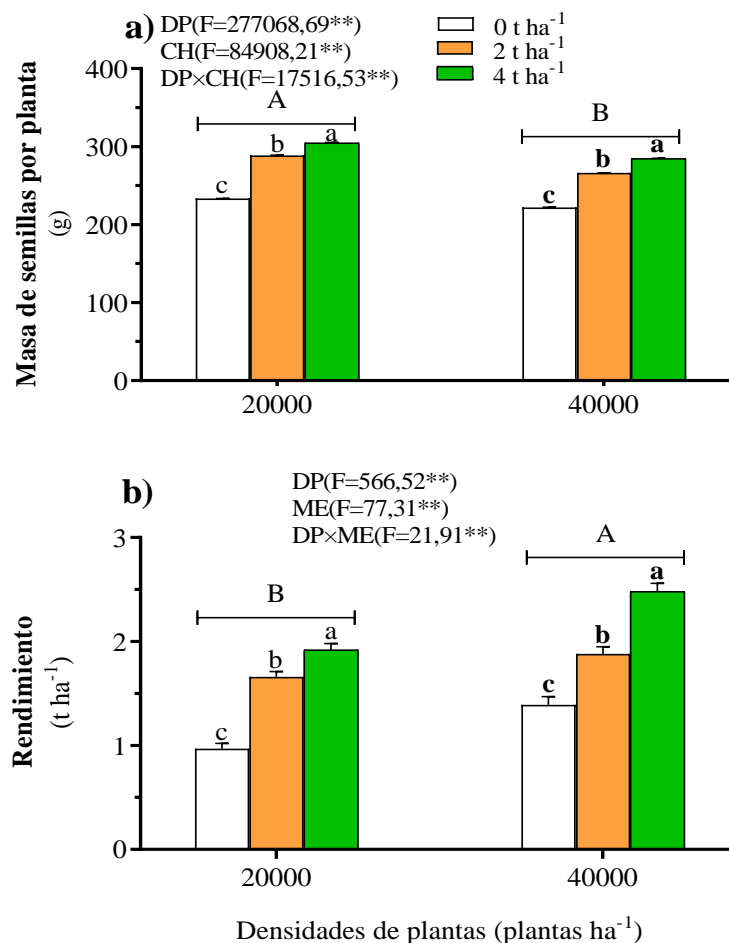


Figura 7. Masa de las semillas (a) y rendimiento (b), en las plantas de girasol en función de dos densidades de plantas (20000 y 40000 plantas ha⁻¹) y tres dosis de cachaza (0, 2 y 4 t ha⁻¹). Letras minúsculas normales (ejemplo: a, b, c) o negritas (ejemplo: **a**, **b**, **c**) indican diferencias significativas entre las dosis de compost de cachaza en las densidades de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹, respectivamente. Letras mayúsculas (ejemplo: A, B) indican diferencias significativas entre las densidades de 20000 y 40000 plantas ha⁻¹ en la misma dosis de compost de cachaza, de acuerdo con la prueba de Tukey (p<0,05).

Los resultados mostraron que las DP y la CH modifican la productividad del girasol. Investigaciones similares informaron que las DP desempeñan un rol fundamental en el aumento del rendimiento de este cultivo (Mehta et al., 2024). Estos incrementos en el rendimiento del girasol con la mayor densidad (40000 plantas ha⁻¹) probablemente ocurrieron por las variaciones

ocurridas en los parámetros del crecimiento como AP, NH y CC (Figuras 2, 3 y 4) y productivos SLL, SV, TSC y %SLL (Figuras 4, 5 y 6). Estos efectos de las DP en el incremento de los indicadores productivos del girasol fueron reportados anteriormente (Modanlo et al., 2021). Estudios similares reportaron que el crecimiento vegetativo del girasol fue mayor en la DP de 40000 plantas ha⁻¹ y estimuló el desarrollo más rápido del área foliar y el cierre del dosel, y la producción total de biomasa (Friedman, 2024). Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con hallazgos anteriores reportados en el girasol (Andriienko et al., 2020; Mladenović et al., 2020).

Resultados similares a los presentados en este estudio fueron reportados anteriormente en girasol comparando densidades de plantas y demostraron que al aumentar la densidad de población el diámetro del tallo, el diámetro de la cabeza, el número y el peso de las semillas por cabeza y el peso de 1000 semillas y el porcentaje hueco de la cabeza, se aumentó el número de días hasta la floración y el rendimiento (Rezaizad et al., 2022). Similarmente, el espaciamiento entre hileras de 30 cm tuvo un diámetro de tallo más grueso, un mayor número de semillas por cabeza, peso de 100 semillas, rendimiento de semillas por planta y rendimiento final de semillas (3,34 t ha⁻¹) (Ibrahim et al., 2023). También, en un meta análisis se demostró que la producción de biomasa de la parte aérea de las plantas de girasol es altamente dependiente de la densidad de siembra (Friedman, 2024). En Tandojam, una ultra alta densidad (83.333 plantas ha⁻¹) produjo rendimientos de semillas mayores comparada con las densidad recomendada (Raj et al., 2024). En la región Noroeste de Brasil, el espaciamiento de 0,90 m proporcionó un mayor tamaño de capítulo, pero mostró disminuciones en el rendimiento de 0,64 t ha⁻¹ en comparación con el espaciamiento de 0,90 m (Seibert et al., 2024).

La aplicación de cachaza mejoró la productividad del girasol y en combinación con la mayor DP incrementó aún más el rendimiento. Esto indica que hubo un efecto sinérgico entre la DP y la fertilización con CH. Estos resultados representan la primera evidencia científica que evalúa los efectos de estos factores en el mejoramiento de la productividad del girasol en condiciones de campo. Los resultados obtenidos demuestran con mayor contundencia la importancia de la aplicación de un manejo sostenible con DP y CC que potencie al máximo la productividad del girasol.

Los efectos benéficos del CH en el crecimiento y rendimiento de los cultivos son pobremente porque mejoran la fertilidad del suelo y aumenten los contenidos y disponibilidades de elementos

esenciales como N y P, dando como resultado rendimientos de 3797 kg ha⁻¹ de producción de semilla (Mehrparvar et al., 2021).

Otros estudios demostraron los efectos beneficiosos del compost de torta de filtración (FCP) en el aumento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Quiroz Guerrero & Pérez Vázquez, 2013) o debido a sus altas concentraciones de polisacáridos y grasas (Rutman-Halili et al., 2020). Similarmente, la aplicación de compost de cachaza a 15 t·ha⁻¹ incrementa los niveles de materia orgánica, K y P en el suelo y el rendimiento de la caña de azúcar (Quiroz Guerrero et al., 2011). Además, mejora la producción de plántulas caña de azúcar (Berrospe-Ochoa et al., 2012). Además, la fertilización con compost de torta filtrante a una dosis de 5 toneladas ha⁻¹ fue más eficiente, pudiendo proporcionar una eficiencia de 0.097 toneladas por kg de caña (Wibisana et al., 2020).

Los efectos beneficiosos de la aplicación de CH son porque aumentan la cantidad de fósforo (P) y materia orgánica en el suelo, presenta una relación carbono-nitrógeno (C/N) estable, así como una baja cantidad de nitrógeno amoniacal (NH₄), lo cual permite que exista una cantidad de nitratos disponibles para la planta (Gameh et al., 2020). Varios experimentos de campo demostraron que la aplicación de torta de filtración, aumentó la productividad y las respuestas fisiológicas de cuatro cultivares de papa anaranjada (Fatokun et al., 2022). Por otra parte, el CH disminuyó la densidad aparente del suelo, fomentó la formación de agregados estables en agua y promovió una estructura granulada y menos compacta del suelo (Rosas & Bendezú, 2023). Adicionalmente, el CH incrementó el crecimiento y rendimiento del maíz dulce y una mayor eficiencia de uso del nitrógeno (Wibisono et al., 2023). Estudios resientes demostraron que la aplicación de CH, además de mejorar las características físicas y químicas de los suelos, también incremento el crecimiento y rendimiento del arroz (Minh et al., 2023), maíz dulce (*Zea mays* var. *saccharata*) (Salman et al., 2023) y la caña de azúcar (Yarahmadi et al., 2023).

Los efectos positivos de las DP y el CH han sido raramente reportados en la literatura y poco estudiado en girasol, por lo tanto, los resultados de estudio representan la primera evidencia científica de estos hallazgos en girasol. Investigaciones anteriores observaron efectos positivos en la combinación de densidades de plantas y fertilización química. En este sentido, la aplicación de DP y fertilización nitrogenada incremento la productividad del girasol comparado con los efectos individuales de la DP y fertilizante nitrogenado, respectivamente (Escalante Estrada et al.,

2020). También, el incremento de la productividad del girasol fue observado entre las DP y la fertilización nitrogenada (Arenas Julio et al., 2021). Asimismo, la aplicación de NPK y DP incrementaron el rendimiento de las semillas de girasol (Modanlo et al., 2021). Todavía, los niveles de NPK y el espaciamiento entre plantas maximizaron la productividad del girasol (Mehrparvar et al., 2021).

Finalmente, los objetivos de este estudio fueron comprobados, lo que sugiere que las DP y la aplicación de CH desempeñan un rol fundamental en el crecimiento y productividad del girasol en época de siembra poca lluviosa, en particular la combinación entre la DP de de 60000 plantas ha^{-1} y la aplicación de 4 t ha^{-1} de CH.

CONCLUSIONES

❖ Los criterios de los expertos indicaron que los bajos rendimientos del cultivo del girasol son debido a la inadecuada fertilización, preparación de los suelos, las densidades de plantas y época de siembra y como causas secundarias destacaron el riego, el genotipo. Consiguientemente, el empleo de altas densidades de plantas mezcladas con la aplicación de compost de cachaza constituye una estrategia necesaria para el desarrollo de este cultivo.

❖ Los resultados de este estudio indican que la densidad de 40000 plantas ha^{-1} exhibió mayores productividades que la DP de 20000 plantas ha^{-1} en todas las dosis de compost de cachaza; mientras que, la aplicación de 4 t ha^{-1} de compost de cachaza incrementó el crecimiento y la productividad en ambas densidades de plantas. Por último, los efectos de esta investigación sugieren que la siembra de girasol a 40000 plantas ha^{-1} fertilizadas con 4 t ha^{-1} de compost de cachaza es una estrategia viable y amigable para aumentar los rendimientos de este cultivo.

RECOMENDACIONES

- ❖ Manejar la siembra de girasol variedad 'Caburé-15' en densidades de plantas de 60000 plantas ha^{-1} en la zona de Tuínucu en la época de siembra poca lluviosa.
- ❖ Aplicar compost de cachaza a la dosis de 4 t ha^{-1} en la producción de girasol variedad 'Caburé-15' en la zona de Tuínucu en la época de siembra poca lluviosa.
- ❖ Combinar la aplicación de compost de cachaza a de 4 t ha^{-1} y en densidades de población de 60000 plantas ha^{-1} en el cultivo de girasol variedad 'Caburé-15' en la zona de Tuínucu en la época de siembra poca lluviosa.

BIBLIOGRAFÍA

- Adalı, M., & Onder, M. (2021). Effects of Different Frequencies and Potassium Doses on Yield and Yield Components in Seed Sunflower. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 35(3), Article 3. <https://dergipark.org.tr/en/pub/selcukjafsci/issue/76652/1277424>
- Alberio, C., Izquierdo, N. G., & Aguirrezábal, L. A. N. (2015). 3—Sunflower Crop Physiology and Agronomy. En E. Martínez-Force, N. T. Dunford, & J. J. Salas (Eds.), *Sunflower* (pp. 53-91). AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-94-3.50009-X>
- 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, 126915. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126915>
- Andriienko, O., Vasylovskaya, K., Andriienko, A., Vasylovskiy, 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>
- Arenas Julio, Y. R., Escalante Estrada, J. A., Ortiz Solorio, C. A., Volke-Haller, V., Rodríguez González, M. T., & Aguilar Carpio, C. (2021). Producción de girasol en función del tipo de suelo, nitrógeno y densidad de población. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1), 1-11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9146216>
- Berrospe-Ochoa, E. A., Ordaz-Chaparro, V. M., Rodríguez-Mendoza, M. de las N., & Quintero-Lizaola, R. (2012). Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(1), 141-156. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2012000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bye, R., Linares, E., & Lentz, D. L. (2009). México: Centro de Origen de la Domesticación del Girasol. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 12(1), 5-12. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=25195>

- 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(2), 109-117. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000200109>
- 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>
- Cheng, B., Raza, A., Wang, L., Xu, M., Lu, J., Gao, Y., Qin, S., Zhang, Y., Ahmad, I., Zhou, T., Wen, B., Yang, W., & Liu, W. (2020). Effects of Multiple Planting Densities on Lignin Metabolism and Lodging Resistance of the Strip Intercropped Soybean Stem. *Agronomy*, 10(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081177>
- Crusciol, C. A. C., McCray, J. M., de Campos, M., do Nascimento, C. A. C., Rossato, O. B., Adorna, J. C., & Mellis, E. V. (2021). Filter Cake as a Long-Standing Source of Micronutrients for Sugarcane. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 813-823. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00403-x>
- de Souza, T. L., de Oliveira, D. P., Santos, C. F., Reis, T. H. P., Cabral, J. P. C., da Silva Resende, É. R., Fernandes, T. J., de Souza, T. R., Builes, V. R., & Guelfi, D. (2023). Nitrogen fertilizer technologies: Opportunities to improve nutrient use efficiency towards sustainable coffee production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 345, 108317. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108317>
- Escalante Estrada, J. A., Rodríguez González, M. T., & Escalante Estrada, Y. I. (2020). Distribución de biomasa, rendimiento y componentes en cultivares de girasol en función de la densidad de población y nitrógeno. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 6(1), 2-2. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9519048>
- Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, Y. I., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Carpio, C., & Escalante-Estrada, Y. I. (2022). Rendimiento, acumulación y distribución de biomasa en girasol en función de la salinidad y nitrógeno. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 9(1). <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3116>

- FAOSTAT. (2023). *Indices de producción de semilla de girasol*.
<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QI/visualize>
- Farweez, M. R., Teama, E. A., El- Nager, G. R., & Said, M. T. (2020). Effect of Plant Density and Nitrogen Fertilizer Splitting on the Production of Sunflower. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 51(2), 64-73. <https://doi.org/10.21608/ajas.2020.115957>
- Fatokun, K., Motsa, N. M., Cloete, J., Radebe, S., & Nkomo, M. A. (2023). Combined Application of Filter Cake and Macadamia Husk Compost Affects Soil Fertility and Plant Mineral Content of Orange-Fleshed Sweet Potatoes. *Applied Sciences*, 13(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/app132011250>
- Fatokun, K., Motsa, N. M., & Modi, A. T. (2022). Orange Fleshed Sweet Potato Response to Filter Cake and Macadamia Husk Compost in Two Agroecologies of KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Agronomy*, 12(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123091>
- Friedman, S. P. (2024). Relationships between combined and individual field crops' biomass and planting density. *Field Crops Research*, 305, 109188. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109188>
- Gameh, M. A., Knany, R. E., Drwesh, Y. U., Ismaeil, F. M., & Abou-ElWafa, S. F. (2020). Effect of Treated Filter Cake on Yield and its Components of Sugar Beet under Saline Soil Condition. *Egyptian Sugar Journal*, 15(0), 1-12. <https://doi.org/10.21608/esugj.2020.209508>
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., & Castro, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba. Publicado en formato digital* (1.^a ed.). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- 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(2), Article 2. <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), Article 2. <https://www.paradigmpress.org/ist/article/view/541>

- IUSS-WRB. (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. En *World Soil Resources Reports*, (106) (4.^a ed.). <https://doi.org/10.1017/S0014479706394902>
- Martínez, V. R., Lagunes, D. A. R., Hernández, R. C. L., Ramos, N. M., Contreras, J. O. R., & Castro, O. C. (2021). EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE COMPOSTA DE RESIDUOS AVÍCOLAS Y CACHAZA. *Agrociencia*, 55(4), 291-302. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i4.2478>
- Mehrparvar, M., Rokhzadi, A., & Mohammadi, K. (2021). Reduced N Application Rate in Sunflower Production Through Supplying P and K Need and Dense-Planting: A Modeling and Optimization Approach by RSM. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2), 1353-1367. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00445-9>
- Mehta, A. K., Shahi, S. K., Maurya, S. K., Patel, K. K., Yadav, R., Gupta, D., Chaubey, C., & Sharma, P. K. (2024). Impact of Integrated Nutrient Management on Growth and Properties of Soil in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(5), Article 5. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i54553>
- Minh, V. Q., Khoa, L. V., & Dai, N. T. P. (2023). Rice Yield Improvement by Sugarcane Filter Cake Fertilizer Application in the Protected Dyke. *International Journal of Agronomy*, 2023(1), 6811132. <https://doi.org/10.1155/2023/6811132>
- 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>
- MNAG. (2020). *Cultivos y técnicas para su producción* (1.^a ed.). Ministerio de la Agricultura.
- Modanlo, H., Baghi, M., & Ghanbari Malidarreh, A. (2021). Sunflower *Helianthus annuus* L.) grain yield affected by fertilizer and plant density. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 1(2). <https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.02.05>
- Moreno-Escandón, L., Perea-Soto, D., Soto-Paz, J., Torres-Lozada, P., & Marmolejo-Rebellón, L. F. (2021). Improvement of Biowaste Composting by Addition of Sugarcane Filter Cake as an Amendment Material. *Ingeniería y Universidad*, 26. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iued26.ibca>

- Mouillon, P., Caldwell, B. A., Cordeau, S., Pelzer, C. J., Wayman, S., & Ryan, M. R. (2020). Crop density affects weed suppression in organically managed Sunflower. *Agronomy Journal*, 112(1), 450-457. <https://doi.org/10.1002/agj2.20059>
- Quiroz Guerrero, I., & Pérez Vázquez, A. (2013). Vinaza y compost de cachaza: Efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE5), 1069-1075. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342013000900019&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Quiroz Guerrero, I., Pérez Vázquez, A., Landeros Sánchez, C., Morales Ramos, V., & Zetina Lezama, R. (2011). Percepción y actitud de productores cañeros sobre la composta de cachaza y vinaza. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(3), 847-856. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-04622011000300014&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- 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), Article 1. <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(4), 991-1003. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.4177.1985>
- Rosas, J. E. Q., & Bendeزú, S. J. G. (2023). Aplicación de cachaza y vinaza para la corrección de un suelo salino-sódico del Perú. *Ciencia del Suelo*, 41(2), Article 2. <https://ojs.suelos.org.ar/index.php/cds/article/view/768>
- Rutman-Halili, I., Zvulun, T., Elgabsi, N., Cohen, R., Sarig, S., & Ben-Asher, J. (2020). Use of Filter Cake Powder for Enhancing Soil Stability of Active Sand Dunes. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 46(2), 252-257. <https://doi.org/10.5276/JSWTM/2020.252>

- Salman, M., Inamullah, Jamal, A., Mihoub, A., Saeed, M. F., Radicetti, E., Ahmad, I., Naeem, A., Ullah, J., & Pampana, S. (2023). Composting Sugarcane Filter Mud with Different Sources Differently Benefits Sweet Maize. *Agronomy*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030748>
- Seibert, M. L., Rosa, G. M. da, 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>
- Seiler, G. J. (2022). Germination and viability of wild sunflower species seeds stored at room temperature and low humidity for 38 years. *Seed Science and Technology*, 50(3), 307-415. <https://doi.org/10.15258/sst.2022.50.3.01>
- Simón, L. A. Y., Hurtado, A. C., & Carvalho, L. B. de. (2023). Influencia de diferentes densidades de plantas en la productividad de la soya. *InfoCiencia*, 27(3), Article 3. <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(3), Article 3. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8371518>
- 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>
- Statista. (2023). *Aceite de girasol: Producción mundial 2012-2023*. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/1009911/produccion-mundial-de-aceite-de-girasol/>
- Wibisana, D. L., Purwono, P., & Yahya, S. (2020). The Application of Filter Cake Compost to Improve The Efficiency of Inorganic Fertilizer in Upland Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Cultivation. *PLANTA TROPIKA*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.18196/pt.2020.119.93-102>
- Wibisono, H., Santoso, B., & Setiaji, A. (2023). Effect of sugarcane filter cake-based organomineral fertilizers on sweet maize growth. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 12(Special Issue), 159-177. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2023.1973162.1559>

- Yarahmadi, F., Landi, A., & Enayatizamir, N. (2023). Effects of Filter Cake, Bagasse and Chemical Fertilizers Application on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Sugarcane. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(5), 811-827. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356621.669470>
- Zapletalová, A., Ernst, D., & Černý, I. (2023). Effect of growing factors on production and fatty acid composition of sunflower schenes. *Acta Fytotechnica et Zootechnica :: ISSN 1336-9245*, 26(3), Article 3. <http://acta.fapz.uniag.sk/journal/article/view/266>