

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Aspersión Foliar de Diferentes Fuentes de Potasio y su Efecto en el Crecimiento y
Calidad de Flor en Dos Variedades de Girasol (*Helianthus annuus* L.)

Por:

GERARDO REYES BEJARANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Aspersión Foliar de Diferentes Fuentes de Potasio y su Efecto en el Crecimiento y
Calidad de Flor en Dos Variedades de Girasol (*Helianthus annuus* L.)

Por:

GERARDO REYES BEJARANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

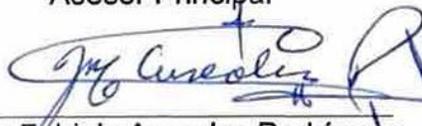
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Armando Hernández Pérez

Asesor Principal


M.C. Belén Guadalupe Muñoz Rocha

Asesor Principal Externo


Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez

Coasesor


Dr. Víctor Manuel Reyes Salas

Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

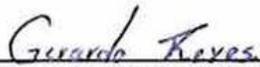
Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Gerardo Reyes Bejarano

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Por medio de este presente quiero expresar mi más profundo agradecimiento por la oportunidad que me brindaron de cursar mis estudios en esta prestigiosa institución.

Durante los últimos 4 años, la universidad ha representado un segundo hogar para mí. Aquí no solo recibí una educación académica excepcional, sino que también pude crecer como persona, gracias a los valores y enseñanzas que me transmitieron mis profesores.

PROFESORES

Por brindarme de su apoyo, por lo que agradezco por la excelente labor que realizaron a lo largo de mi estancia escolar, al brindarme cada uno sus conocimientos que llevaré conmigo siempre.

A MI ASESOR DE TESIS

Agradezco al Dr. Armando Hernández Pérez, le doy mi más sincero agradecimiento por todo el apoyo y dedicación que me brindó durante el proceso de elaboración de mi investigación para obtener el título profesional.

Como mi asesor de tesis, su guía y dirección fueron invaluableles. Gracias por compartir conmigo sus amplios conocimientos y experiencia en el área de estudio. Sus platicas y conocimientos compartidos me permitieron enfocar mi investigación y estructurarla de la mejor manera.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Gerardo Reyes Contreras y Rosalba Bejarano Ruiz, por darme esa confianza, apoyo y oportunidad de seguir adelante y continuar con mi preparación académica, por haberme inculcado esos valores y principios que han marcado mi vida, sé que no ha sido fácil en ocasiones, pero siempre ustedes estuvieron ahí para mí.

Quiero que sepan que este logro no habría sido posible sin ustedes. Terminar mi carrera es la mejor manera que tengo de retribuirles un poquito de todo lo que han hecho por mí. ¡Son los mejores padres!

A MIS HERMANOS

Ignacio Reyes Bejarano y Jonathan Alejandro Reyes Bejarano, hoy quiero agradecerles de corazón por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de estos años de carrera universitaria. Sé que no ha sido fácil convivir con ustedes, sobre todo en tiempos importantes, pero en verdad mil gracias, sé que sin su apoyo habría sido mucho más difícil concluir mi carrera, son los mejores hermanos que pude tener.

A MIS ABUELAS

Consuelo Contreras Ortega y Ma. de Jesús Ruíz Ruíz. Por darme amor y cariño incondicional, además esas palabras de aliento en los momentos difíciles que fueron mi motivación para seguir adelante y que mejor regalo que darles que mi título universitario.

A MI TIO

Sergio Contreras Reyes, agradezco por la confianza que me brindaste y por estar al pendiente de mí, así como esas charlas de motivación, consejos que me sirvieron para luchar por el objetivo.

A MIS AMIGOS

Javier Gallardo Meza gracias por compartir conmigo no solo conocimientos, sino también momentos de alegría, risas y comprensión dentro de la UAAAN. Gracias por ser ese amigo que todos quisiéramos tener: honesto, comprometido y genuinamente preocupado por el bienestar de los demás. Más allá de ser un compañero de universidad, has demostrado ser un amigo excepcional, alguien que cree en mí incluso cuando yo mismo dudaba.

Juan Antonio Castañeda Rivera mi más profundo agradecimiento por tu apoyo incondicional durante mi proyecto de investigación. Tu colaboración ha sido mucho más que un simple favor; ha sido un verdadero acto de generosidad y amistad. Cada consejo, cada momento de apoyo, cada palabra de aliento ha sido un regalo invaluable que ha enriquecido mi perspectiva como persona.

Jhojan Leobardo Piña Solano por brindarme darme su amistad y apoyo estos años que pase en la universidad y por darme ese apoyo incondicional que llevare conmigo siempre.

Ricardo Kaleb Ramos Dueñas por ser esa persona que me dio su apoyo y convivencia de todos los días, además, por tu lealtad, tu tiempo, tu comprensión y tu amistad sincera.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el campo experimental del Departamento de Horticultura. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto la aspersion foliar de fuentes potasio en el crecimiento, la concentración de potasio y nitrato en la savia y calidad de flor de dos variedades de girasol. Se aplicaron cuatro tratamientos vía foliar; T1-NKS, T2-SOP, T3-MKP, T4-Testigo y dos variedades (Sun Improved y White Life). El diseño experimental utilizado fue el de completamente al azar con un arreglo factorial de 2x4, con un total de ocho tratamientos y cada tratamiento consistió en 3 repeticiones. Se determinaron; la altura de planta, diámetro de tallo, peso seco de hojas, concentración de NO_3 y K^+ y el tamaño de la flor.

La aspersion de NKS aumenta la concentración de potasio en la savia de peciolo, así como la altura de la planta (AP) y el diámetro del tallo (DT). Mientras que, la aspersion de SOP se presentó mayor tamaño de la flor. La mayor concentración de NO_3^- se obtuvo con la aplicación de MKP. La variedad Sun Improved registra mejor crecimiento y calidad de flor que la variedad White Life. La aplicación foliar de SOP incrementa el tamaño de flor, pero, la concentración de K^+ se obtuvo con las aspersiones de MKP y NKS, en general el crecimiento fue superior en la variedad Sun Improved.

Con la aspersion de potasio es posibles mejorar el crecimiento y calidad de la flor, pero depende de las fuentes a utilizar y de la variedad de esta especie de flor de corte.

Palabras clave: Savia del peciolo, ion potasio, ion nitrato, biomasa seca, tamaño de flor

INDICE GENERAL

Contenido

ÍNDICE DE CUADROS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
RESUMEN	7
Objetivos específicos	5
1.2- Hipótesis	5
II.- REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1.- Origen	6
2.2.- Importación económica a nivel nacional e internacional	6
2.3.- Morfología del girasol.....	7
2.3.1.- Raíz.....	7
2.3.2.- Tallo.....	7
2.3.3.- Hojas.....	7
2.3.4.- Inflorescencia	7
2.3.5.- Flor.....	8
2.3.6.- Fruto.....	8
2.4.- Condiciones edafoclimáticas.....	8
2.4.1- Suelo.....	8
2.4.2.- pH del suelo	9
2.4.3- Temperatura.....	9
2.4.4- Precipitación.....	10
2.4.5- Fotoperiodo.....	10
2.5.- Fertilización foliar	11
2.5.1- Solubilidad	11
2.5.2- Carga eléctrica.....	11
2.5.3.- Tamaño de las gotas y la presión de pulverización.....	12
2.6.- Rutas de absorción foliar	12
2.6.1.- Vías y mecanismos de penetración	12
2.6.2.- Permeabilidad cuticular	13

2.7.- pH de la solución foliar	13
2.8.- Potasio, un elemento esencial	14
2.8.1- Uso de potasio en la agricultura	14
2.8.2.- Fuentes de potasio – fertilizantes potásicos	14
Cloruro de potasio (muriato de potasio, MOP)	15
2.9.- Aspersión foliar de potasio en los cultivos	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1- Ubicación del experimento	18
3.2.- Material vegetal	18
3.3.-Establecimiento del cultivo	18
Siembra	19
3.4.- Tratamientos	19
3.5.- Diseño experimental	20
3.6.- Manejo del cultivo	20
3.7- Variables evaluadas	21
Crecimiento del girasol	21
4. - Análisis estadístico	21
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.3 Altura de planta	24
3.4.- Diámetro de tallo	25
3.5 Peso seco foliar	26
3.2 Concentración de NO_3^- en la savia	27
3.1 Concentración de K^+	28
3.5.- Diámetro flor vertical	29
3.6.- Diámetro de flor horizontal	30
IV.- CONCLUSIÓN	32
LITERATURA CITADA	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en la aspersión foliar de 1000 ppm de potasio suplementario en dos variedades de girasol de corte.	21
Cuadro 2. Efecto de la aspersión foliar de tres fuentes potasio en crecimiento, biomasa seca y concentración de nitrato (NO_3^-) y potasio (K^+) en dos variedades de <i>Helianthus annuus</i> L.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la aspersión foliar de diferentes fuentes de potasio sobre la altura de la planta en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.....	25
Figura 2. Efecto de la aspersión foliar de diferentes fuentes de potasio sobre el diámetro de tallo en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.....	26
Figura 3. Efecto de la aspersión foliar de diferentes fuentes de potasio sobre el peso seco de las hojas en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.....	27
Figura 4. Efecto de la aspersión foliar con diferentes fuentes de potasio sobre la concentración de nitrato (NO_3^-) en la savia del peciolo en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.....	28
Figura 5. Efecto de la aspersión foliar con diferentes fuentes de potasio sobre la concentración de potasio (K^+) en la savia del peciolo en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.....	29
Figura 6. Efecto de la aspersión foliar de diferentes fuentes de potasio sobre el diámetro de flor vertical en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.....	30
Figura 7. Efecto de la aspersión foliar de diferentes fuentes de potasio sobre el diámetro de flor horizontal en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.....	31

I.- INTRODUCCIÓN:

El girasol (*Helianthus annuus* L.), es una especie emblemática de la familia *Asteraceae*, representa un modelo botánico complejo cuyo desarrollo y comportamiento están relacionados con su nutrición mineral.

La nutrición vegetal constituye un componente fundamental para el desarrollo, crecimiento y productividad de las plantas. Normalmente, los sistemas de fertilización se han centrado específicamente en la aplicación de nutrientes directamente al suelo, sin embargo, la fertilización foliar surge como una práctica complementaria y altamente eficiente que revoluciona los paradigmas tradicionales de nutrición vegetal.

El K considerado un macronutriente esencial, desempeña funciones críticas en múltiples procesos fisiológicos, desde la regulación estomática hasta la síntesis proteica y el transporte de asimilados. Su absorción y distribución mediante técnicas innovadoras como la aspiración foliar, representa una estrategia prometedora para optimizar el desarrollo y la calidad en postcosecha en los cultivos como el girasol (Marschner, 2011). Las diferentes fuentes de potasio es necesario considerar para su aplicación vía foliar para que, puede tener diferentes efectos en las plantas.

El éxito de la fertilización foliar es necesario tomar en cuenta tres factores, los de la planta, ambiente y formulación foliar. En relación a la formulación foliar, la concentración de la sal portadora del nutrimento, el pH de la solución, la adición de coadyuvantes y el tamaño de la gota del fertilizante líquido, del nutrimento por asperjar se cita su valencia y el ion acompañante, la velocidad de penetración y la translocabilidad del nutrimento dentro de la planta. Del ambiente se debe de considerar la temperatura del aire, el viento, la luz, humedad relativa y la hora de aplicación (Santos, 1999). Por lo anterior se plantea los siguientes objetivos.

Objetivo general:

Evaluar el efecto la aspersion foliar de fuentes potasio en el crecimiento, la concentraci3n de potasio y nitrato en la savia y calidad de flor de dos variedades de girasol.

Objetivos espec3ficos

- Obtener el efecto de la aspersion foliar de las fuentes de potasio en el crecimiento de dos variedades de girasol.
- Determinar el efecto de la aspersion foliar de fuentes de potasio en la concentraci3n de K^+ y NO_3^- en la savia de dos variedades de girasol.
- Encontrar la mejor fuente de potasio que favorece la calidad de la flor de dos variedades de girasol.

1.2- Hip3tesis

Al menos una fuente de potasio asperjado mejora el crecimiento y calidad de flor de dos variedades de girasol.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- Origen

El género *Helianthus* pertenece a la tribu *Heliantheae* dentro de la familia Asteraceae y consta de 49 especies, de las cuales 13 son anuales y 36 perennes. Su centro de origen se encuentra en América del Norte, donde crecen adaptadas a diversos hábitats y altamente variables en cuanto a caracteres morfológicos y fisiológicos (Poverene, 2002). El girasol cultivado (*Helianthus annuus*) es una especie de gran importancia a nivel mundial por su alto contenido de aceite (Luévanos et al., 2010), el cual es de alta calidad y alto contenido proteico; además, el resto de la planta puede utilizarse como forraje y se considera que es un cultivo con bajos requerimientos de producción (Olalde et al., 2000).

2.2.- Importación económica a nivel nacional e internacional

La floricultura en México es una actividad económica que ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas. La producción se concentra en los estados de Jalisco, Estado de México, Morelos, Puebla y Michoacán. El Estado de México se posicionó como la entidad con mayor volumen de producción en el país en 2021 y encabeza la producción nacional en seis de las principales especies de ornato: girasol, rosa, gerbera, crisantemo (Cabrera et al., 2023)

Cabe mencionar que el girasol (*Helianthus annuus* L.) ha experimentado un crecimiento significativo en la industria de flores de corte, representando un importante rubro económico tanto a nivel internacional como nacional.

En cuanto a la producción para flor de corte, en México para 2019 se sembraron 652.45 hectáreas y solo se reportó su cultivo para tal fin en Baja California, Edo. de México y Morelos. La producción nacional para 2019 fue de 263,721 gruesas de flor de girasol, que representó un valor de \$79,505,610.00 pesos (INTAGRI, 2021).

2.3.- Morfología del girasol

2.3.1.- Raíz

La planta se caracteriza por poseer una raíz pivotante, formada por un eje central principal con abundantes raíces secundarias que en conjunto pueden llegar a alcanzar los tres metros de profundidad (Girón, 2023).

2.3.2.- Tallo

La planta de girasol presenta un tallo erecto simple o ramificado, cilíndrico y vigoroso con alturas que varían de 1 hasta 3 m. Las variedades más recomendadas para siembra son las de 1.5 m de altura por facilitar la cosecha (Badias, 2006).

2.3.3.- Hojas.

Sentadas sobre un largo peciolo, alcanzando hasta los 10 centímetros, de forma oval, con el ápice afilado, los bordes dentados o aserrados, tanto la cara como el envés son pubescentes y por ello presenta esa característica aspereza al tacto. El número de hojas oscila entre 7 y 25 pares, acumulándose las últimas en el ápice del tallo. En cuanto a su posición en el tallo, los 2-3 primeros pares están superpuestos, siguiendo las demás alternas. Según las variedades, el tamaño varía entre 10 y 25 centímetros de longitud; el color por lo general es verde, observándose formas con una tonalidad violeta en el peciolo (Badias, 2006)

2.3.4.- Inflorescencia

Presenta una inflorescencia terminal en forma de capítulo, con un receptáculo más o menos plano, donde se insertan las flores sésiles, pudiéndose encontrar de 500 a 1 000 flores por capítulo. Alrededor del capítulo, se encuentran un número variado de brácteas involúcrales. Esta inflorescencia puede medir de 10 a 30 cm de diámetro, según la variedad, fecha de siembra, densidad y fertilidad del suelo. En los tipos cultivados de girasol se presenta solamente una inflorescencia por planta, siendo una característica no deseable el poseer más de un capítulo por planta (Martínez, Ávila, Salazar y Rivas (2014).

2.3.5.- Flor

Las flores están reunidas en una inflorescencia racimosa, llamada "capítulo", en forma de disco plano. Rara vez se encuentran tipos que tengan el disco cóncavo o convexo. Hay variedades no oleaginosas en las que la cabezuela tiene grandes dimensiones. que al madurar el "capítulo" tienda a cóncavo. La dimensión del "capítulo" es muy variable, según variedades, desde 8 a 40 centímetros de diámetro, siendo por lo general en las variedades oleaginosas de 12 a 20 centímetros de diámetro (Badias, 2006).

La flor de girasol es utilizada de manera ornamental o como forraje, mientras que de la semilla se extraen la harina y el aceite, que son muy benéficos debido a su gran cantidad de grasas poliinsaturadas; además, la semilla es utilizada para la elaboración de confitería, jabones, cosméticos, detergentes e incluso, en algunos países, como combustible (Luévanos *et al.*, 2010).

2.3.6.- Fruto

Corresponde a un fruto seco e indehisciente llamado aquenio, consta del pericarpio o cáscara que recubre la semilla verdadera o almendra, el color del aquenio puede ser blanco, negro o una mezcla de ambos en forma estriada. Se recomienda que el porcentaje de cáscara no sobrepase 35% en peso, para poder esperar buenos rendimientos en aceite. En la almendra se encuentra almacenado el aceite, el cual es utilizado por la planta como reserva de energía para la germinación de la semilla; y al ser extraído, se utiliza en el consumo humano. Los ácidos grasos predominantes son los insaturados, específicamente el ácido oleico (monoinsaturado) y el ácido linoleico (poliinsaturados). El aceite de girasol posee bajo contenido de ácidos grasos saturados, característica que le proporciona un alto nivel de calidad a su aceite (Díaz-Zorita y Duarte (2002).

.2.4.- Condiciones edafoclimáticas

2.4.1- Suelo

El girasol es un cultivo con una alta adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales y características del suelo. Este cultivo crece bien en la mayoría de los tipos de suelos excepto en aquellos suelos delgados, que van desde aquellos suelos arenosos

de fertilidad media hasta suelos pesados, pero son más recomendables, aquellos suelos profundos de color café o negro que no se compactan, con buen drenaje y un pH neutro o ligeramente alcalino. El cultivo de girasol prefiere suelos arcillo-humíferos o arcillo-arenosos, en su caso ricos en materia orgánica (Universitario de Ciencias Biológicas, C. (1980).

2.4.2.- pH del suelo

El pH óptimo del suelo para el crecimiento y desarrollo del girasol es crucial para maximizar el rendimiento y asegurar el desarrollo saludable de las plantas. Los girasoles son generalmente tolerantes a una variedad de niveles de pH del suelo, pero su crecimiento puede verse afectado significativamente por la acidez del suelo. Las investigaciones indican que mantener un pH del suelo dentro de un rango específico es esencial para una productividad óptima del girasol. En las siguientes secciones se detallan los hallazgos de diversos estudios sobre este tema. El rendimiento de girasol se ve afectado negativamente por la acidez del suelo, observándose una reducción del 10% en el rendimiento a niveles de pH del suelo de 4.7 a 5.3, dependiendo de la ubicación y tipo de suelo (Sutradhar *et al.*, 2014). En un estudio realizado en Tanzania, se encontró que los valores de pH del suelo que van de 5.5 a 7.2 son adecuados para el cultivo de girasol, con disponibilidad óptima de nutrientes dentro de este rango (Nungula *et al.*, 2024).

2.4.3- Temperatura

El girasol es una planta que necesita al menos 5 °C, durante 24 horas, para poder germinar, cuanto más alta es la temperatura, más rápidamente germinará. Si la temperatura es menor de 4 °C no llegará a hacerlo. Arenas-Julio *et al.* (2021) observaron que en un cultivo de girasol presentó un mayor crecimiento con temperaturas máximas entre 22 a 34 °C y mínimas de -2 a 12 °C.

Por otra parte, la influencia negativa de las altas temperaturas durante la fase de floración varía según el régimen de temperaturas que ha soportado la planta en la fase anterior de crecimiento y desarrollo foliar. Si estas han sido altas en la fase anterior, la planta

soportará mejor las altas temperaturas en la fase de floración. Si no es así, la planta podría sufrir situaciones de estrés (Portal Frutícola, 2018).

2.4.4- Precipitación

El rango óptimo de precipitación para el cultivo de girasol varía según las diferentes regiones, influenciado por las condiciones climáticas locales y las características del suelo. Los girasoles generalmente requieren de una lluvia bien distribuida durante su temporada de crecimiento para lograr rendimientos óptimos. La precipitación de la temporada de cultivo, particularmente durante las fases críticas de crecimiento, impacta significativamente la productividad del girasol. Se ha reportado que los mayores rendimientos se lograron con precipitaciones de 110 a 130 mm antes y 350 a 420 mm durante el periodo de vegetación (Mijić *et al.*, 2012).

2.4.5- Fotoperiodo

El fotoperiodo impacta significativamente la producción de girasol, influyendo tanto en el rendimiento como en la calidad. Los girasoles exhiben una variedad de respuestas fotoperiódicas, desde días cortos hasta días neutros, afectando el tiempo de floración, la morfología de las plantas y la composición bioquímica. Estas variaciones se pueden aprovechar para optimizar el cultivo de girasol en diferentes entornos y mejorar el rendimiento y la calidad.

Los girasoles son generalmente plantas de días cortos, con fotoperíodos más cortos que promueven una floración más rápida al acelerar el inicio y desarrollo de los primordios florales (Dyer *et al.*, 1959).

Diferentes cultivares muestran respuestas variadas al fotoperiodo; por ejemplo, Hysun 30 experimenta una emergencia prolongada a la etapa visible de cabeza bajo fotoperíodos cortos, mientras que Sunfola 68-2 es menos afectada (Goyne y Hammer, 1981).

En los girasoles ornamentales, la sensibilidad a los días cortos puede conducir a una floración temprana y flores más pequeñas, lo que no es deseable para la producción de

flores de corte, asimismo el fotoperíodo afecta la altura de la planta, el número de hojas y el diámetro de la flor (Wien, 2014).

2.5.- Fertilización foliar

La fertilización foliar es una práctica efectiva para la corrección de deficiencias nutricionales en plantas que se encuentran bajo condiciones de estrés o en suelos con baja disponibilidad de nutrientes. La fertilización foliar consiste en aplicar disoluciones de nutrientes directamente sobre las hojas. La absorción en la hoja se desarrolla mayoritariamente a través de la epidermis, por difusión, debido al gradiente de concentración del nutriente que se establece entre la superficie de la hoja y en el interior de la epidermis. Una vez que el nutriente ha ingresado al citoplasma de las células epidérmicas, la movilización de este ocurre en forma rápida. La principal barrera que el nutriente debe atravesar es la cutícula, la cual está compuesta de ceras. Las características fisicoquímicas del nutriente, tales como tamaño y polaridad controlan la tasa de absorción (Castillo, Marín y León, 2013).

2.5.1- Solubilidad

Fernández, Sotiropoulos y Brown (2015), afirman que, antes de aplicar cualquier solución nutritiva vía foliar, es necesario que los compuestos fertilizantes estén apropiadamente disueltos o suspendidos. La solubilidad de un compuesto fertilizante en el solvente (agua normalmente) a una temperatura determinada, es una propiedad física que puede alterarse con el uso de aditivos. Dicha solubilidad es importante para absorción foliar de los nutrientes, ya que teóricamente la absorción ocurre cuando el compuesto se encuentra en fase líquida sobre la superficie de la planta.

2.5.2- Carga eléctrica.

Los fertilizantes son sales que al disolverse en agua se separan en iones libres, aunque al final la solución es eléctricamente neutra. A $\text{pH} > 3$ las cutículas tienen cargas negativas y las paredes celulares tienen cargas que corresponden a ácidos débiles disociados, por lo que los compuestos sin carga, aniones o compuestos con carga negativa en teoría pueden penetrar las hojas y ser más fácilmente traslocados que aquellos que tienen carga positiva (Fernández, Sotiropoulos y Brown 2015).

2.5.3.- Tamaño de las gotas y la presión de pulverización.

Las gotas grandes cubren un área de hoja más pequeña que las gotas pequeñas y tienden a caer al suelo. Por lo tanto, generalmente se prefieren gotas más pequeñas. Sin embargo, las gotas que son demasiado pequeñas pueden resultar en pérdidas de nutrientes como resultado de la deriva.

El tamaño de la gota está determinado por el tipo de boquilla de pulverización utilizada y de la presión de pulverización. Por lo tanto, la selección de una boquilla de pulverización adecuada y la aplicación de la presión adecuada son factores importantes en la aplicación foliar (Sela, 2021).

2.6.- Rutas de absorción foliar

Durante años, ha habido controversia sobre las características estructurales y químicas de la cutícula que se relacionan con la absorción de los fertilizantes foliares.

Las ceras epicuticulares son el componente más externo e hidrofóbico y su estructura limita la penetración de agua y de iones a través de la membrana lo que afecta de manera significativa la permeabilidad cuticular, adicionalmente, cutículas con estructuras completamente reticuladas son más permeables a ciertas sustancias que aquellas con una región laminosa externa. Se ha sugerido que la absorción de iones por las hojas puede ser completada en tres etapas, en la primera, las sustancias penetran la cutícula y la pared celular a través de difusión libre; en la segunda, estas sustancias atraviesan la membrana plasmática, y en la tercera etapa las sustancias son llevadas al citoplasma en un proceso que requiere energía derivada del metabolismo (Gaytán, 2013).

2.6.1.- Vías y mecanismos de penetración

Las aspersiones foliares pueden penetrar en la hoja a través de diferentes vías principales como la cutícula, la cual está compuesta principalmente por ceras epicuticulares y cutina, representa la primera barrera para la penetración. Según Schönherr (2006), menciona, que existen dos mecanismos primarios de penetración, siendo principalmente la penetración directa a través de la cutícula, por lo que este proceso depende de las propiedades fisicoquímicas de la solución influenciada por la polaridad, tamaño molecular y tensión superficial. Como segundo mecanismo esta la penetración a través de estomas, el cual ofrece una ruta de entrada más directa.

Los procesos mediante los cuales una solución de nutrientes que se aplica al follaje de un cultivo es asimilada por las plantas incluyen: contacto con la hoja y adsorción a la superficie de esta, penetración cuticular/estomática a través de otras estructuras epidérmicas, absorción celular y penetración en los compartimentos celulares metabólicamente activos en la hoja, y finalmente, en su caso, la translocación y la utilización de los nutrientes absorbidos por la planta (Fernández, Sotiropoulos y Brown , 2015).

2.6.2.- Permeabilidad cuticular

La cutícula consiste en tres capas desde el exterior hacia el interior: Capa cerosa epicutícula, la cutícula propiamente dicha y la capa cuticular. La capa cerosa es el componente más externo e hidrofóbico de la cutícula. La cutícula propiamente dicha CP que se encuentra debajo contiene principalmente cutina y/o cutan y está libre de polisacáridos.

La capa cuticular se encuentra en la cutícula y consta de cutina/cutan, pectina y hemicelulosas que aumentan la polaridad de esta capa debido a la presencia de grupos funcionales hidroxilo y carboxílicos. La laminilla media y la capa de pectina se encuentran por debajo de la capa cuticular. Cantidades variables de fibrillas de polisacárido y laminillas de pectina pueden extenderse desde la pared celular, enlazando la cutícula con el tejido subyacente (Fernández, Sotiropoulos y Brown, 2015).

2.7.- pH de la solución foliar

Aunque es claro que el pH de la solución a asperjar puede tener un efecto en la tasa de penetración, aún no ha sido bien descrito el mecanismo; por lo tanto, dependerá de los nutrientes aplicados y la especie vegetal tratada. En muchos reportes de fertilización foliar se omite el pH de la solución asperjada, pero en aquellos en los que se publica se ha encontrado una gran variación.

De manera general se recomienda una solución ácida, con valores que van de 5.0 a 6.5. Es importante aclarar que muchas de las fuentes fertilizantes alteran el pH de las soluciones, llegando a valores extremos. Las fuentes de Fe (III) acidifican fuertemente, mientras que soluciones con 1 % de CaCl₂ tienen valores de pH por encima de 8.0 (Fernández, Sotiropoulos y Brown, 2015).

2.8.- Potasio, un elemento esencial

El potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, es esencial para el crecimiento y reproducción de estas. Se encuentra presente en la solución suelo como catión cargado positivamente, K^+ . El potasio tiene un rol fundamental en la apertura y cierre estomático, regulando la absorción de CO_2 y por ende, actuando a nivel de fotosíntesis, está involucrado en el transporte de azúcares y almidones, mantiene la presión de turgencia de las células (lo que significa que evita que la planta se marchite prematuramente), ayuda a la absorción de nitrógeno y la síntesis de proteínas. Por último, también actúa como un activador de enzimas y es esencial para la producción de ATP (fuente de energía importante para muchos procesos químicos que tienen lugar en las plantas (Agrovitra, 2020).

2.8.1- Uso de potasio en la agricultura

El potasio juega un papel muy importante en la nutrición vegetal ya que contribuye como activador de enzimas por excelencia, requerido por más de 50 de ellas para aumentar la celeridad de reacción, a la vez que interviene en la síntesis de proteínas, en la fotosíntesis y en el cierre y apertura de estomas (Castillo, 2013).

Mientras tanto en el citoplasma el potasio es el catión más abundante, contribuyendo al potencial osmótico de las células y tejidos radiculares. También influye en la osmosis porque facilita el alargamiento celular y proceso la turgencia de la planta por encontrarse en los cloroplastos y vacuolas respectivamente, a pesar de no formar parte de los compuestos orgánicos de la planta. El potasio se mueve desde estructuras viejas hacia los puntos de crecimiento, por lo tanto, es acumulada tempranamente en el período de crecimiento y posteriormente se reparte para colaborar: en la fotosíntesis, regulando la apertura de los estomas permitiendo la asimilación del CO_2 y la salida del O_2 , manteniendo una buena relación del agua en la planta por reducción de evapotranspiración (Coronel, 2016).

2.8.2.- Fuentes de potasio – fertilizantes potásicos

Los fertilizantes a base de potasio son esenciales para el crecimiento de las plantas, proporcionando un nutriente crítico que mejora el rendimiento y la calidad de los cultivos.

Se han desarrollado diversas formulaciones y métodos para optimizar el suministro de potasio a las plantas, cada uno con beneficios y aplicaciones únicos.

Cloruro de potasio (muriato de potasio, MOP)

El cloruro de potasio como fertilizante en la agricultura ofrece varios beneficios, que incluyen un mayor rendimiento y calidad de los cultivos, una mejor resistencia de las plantas al estrés y una mayor absorción de nutrientes.

- Fórmula: KCl
- Composición: 60% de potasio como K₂O (50 % K) y 45 % de Cl⁻.
- Un fertilizante de potasio altamente soluble.
- Su solubilidad varía entre 275 g L⁻¹ a 30 ° C y 229 g L⁻¹ a 5 ° C.
- No debe aplicarse a cultivos sensibles al cloruro ni a semillas.
- La mayor fuente económica de potasio para las plantas.

Nitrato de potasio

El nitrato de potasio, o nitrato de potasio, ofrece varios beneficios como fertilizante en las prácticas de agricultura sustentable. Combina los nutrientes esenciales potasio (K) y nitrógeno (N), ambos cruciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. El nitrato de potasio mejora la salud de las plantas, mejora la calidad de la fruta y apoya el manejo sustentable del suelo. Estos beneficios lo convierten en un componente valioso en los sistemas agrícolas sustentables (Wakeel *et al.*, 2016).

- Fórmula: KNO₃
- Composición: 13 % de nitrógeno de nitrato (N-NO₃) y 46 % de potasio como K₂O (38 % de K).
- Muy soluble.
- Su solubilidad varía entre 458 g L⁻¹ a 30 °C y 133 g L⁻¹ a 5 °C.
- Tiene un costo relativamente alto.
- Se utiliza principalmente para cultivos en invernadero y en hidroponía.

Sulfato de potasio (SOP)

El sulfato de potasio proporciona potasio esencial, el cual es vital para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Mejora la eficiencia de absorción de nutrientes, particularmente en suelos deficientes en potasio, y apoya la resistencia al estrés de las plantas, incluyendo la tolerancia a la sequía y a la salinidad (Cakmak, 2010; Wakeel *et al.*, 2015). El azufre en el sulfato de potasio es beneficioso para los cultivos, ya que el azufre es un nutriente crítico que influye en el rendimiento de los cultivos y las comunidades microbianas del suelo, puede reducir el pH y aumentar el contenido de azufre disponible (Dong *et al.*, 2024). El sulfato de potasio tiene un índice salino relativamente más bajo y una fitotoxicidad potencialmente menor en comparación con otras fuentes de potasio, por lo que es adecuado para diversos métodos de aplicación, incluyendo foliar y fertirrigación (Fairweather y Hojjatie, 2013).

- ✚ Fórmula: K_2SO_4
- ✚ Composición: 52% de potasio como K_2O (43% K) y 54% de SO_4^{2-} (18% S).
- ✚ Tiene una solubilidad relativamente baja.
- ✚ Su solubilidad varía entre 120 g L^{-1} a $25\text{ }^\circ\text{C}$ y 80 g L^{-1} a $5\text{ }^\circ\text{C}$.
- ✚ Se utiliza principalmente para cultivos sensibles al cloruro y cuando se requiere fertilización con azufre.

Fosfato monopotásico (MKP)

El fosfato monopotásico (MKP) es una valiosa fuente de potasio en la agricultura debido a su alta solubilidad y eficiencia en la entrega de nutrientes esenciales a las plantas. Mejora el rendimiento y la calidad de los cultivos, por lo que es una opción preferida para diversas aplicaciones agrícolas. Los beneficios de usar MPP como fuente de potasio son multifacéticos, abarcando mejoras en el crecimiento de las plantas, calidad y seguridad de la fruta, así como ventajas económicas y ambientales (Manning, 2010).

- ❖ Fórmula: KH_2PO_4
- ❖ Composición: 34 % de potasio como K_2O (28 % K) y 52 % de fósforo como P_2O_5 (22.5 % P).
- ❖ Su solubilidad varía entre 300 g L^{-1} a $25\text{ }^\circ\text{C}$ y 110 g L^{-1} a $5\text{ }^\circ\text{C}$.

2.9.- Aspersión foliar de potasio en los cultivos

La aspersión foliar de potasio es una técnica fundamental en la nutrición vegetal con importantes implicaciones para el rendimiento y la calidad de los cultivos.

(Martínez Álvarez, 2023) concluyo que la aspersión foliar de K⁺ beneficia positivamente a las plantas, por lo que, ayuda a tener una mayor altura de planta, diámetro de flor y tallo.

Además, el potasio (K⁺) ayuda a obtener un mayor número de hojas, peso fresco y seco de hojas en los cultivos. la aplicación de potasio vía foliar promueve mayor crecimiento y calidad de la flor de girasol para corte.

Asimismo, La nutrición foliar con K⁺ tiene como objetivo ayudar a incrementar el peso y tamaño de los frutos, favoreciendo la acumulación de azúcares y sólidos solubles y calidad de las cosechas, mejorando el sabor y el color de los frutos. Favorece la resistencia a enfermedades al fortalecer los tejidos vegetativos. El K⁺ también mejora las propiedades de almacenamiento en postcosecha de frutas y hortalizas, al promover mayor firmeza en los y resistencia de los tejidos (Segura, Á. (2002).

El potasio, cuando se aplica por fertiirrigación o mediante aspersión foliar, tiene un efecto positivo en el funcionamiento de las plantas, ya que maximiza su rendimiento y aumenta la eficiencia del uso del agua (Fournieret al.2005). Sin embargo, ensayos realizados por Fernández et al. (1998) mostraron un efecto positivo sobre la cosecha en cucurbitáceas, al aplicar dosis foliares de potasio, señalando el papel de apoyo de este elemento aplicado como bioactivador.

Mientras tanto, el potasio aumenta la eficiencia del proceso fotosintético y la translocación de asimilados hacia el bulbo en cebolla, lo que provoca mayor acumulación de masa fresca y contribuye al aumento del rendimiento (Marschner 2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1- Ubicación del experimento

El experimento se estableció en el campo experimental del Departamento de Horticultura, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas 25°21'22.2" Latitud Norte y 101°02'07.4" longitud oeste, con una altitud de 1761 msnm.

3.2.- Material vegetal

Girasol F1 Sun improved

Características: El Girasol F1 Sun improved puede tener una longitud de tallo suficiente incluso en condiciones de días cortos en climas templados. Las flores de calidad de floristería son des polinizadas con pétalos de color amarillo intenso.

Altura: 1.50-2.00 metros.

Girasol F1 ProCut White lite

Características: Es una variedad de Girasol que posee un solo tallo, con pétalos de color amarillo pálido y cremoso y en el centro es de color verde dorado claro.

Altura: 1.52-1.83 metros.

3.3.- Establecimiento del cultivo

Preparación de camas

Primeramente, se llevó a cabo la preparación de los surcos, los cuales se formaron de manera manual, para ello se requirió de un pico, azadón y rastrillo. Se formaron cuatro surcos con distanciamientos de 1.2 m, los surcos median 20 m de largo, 80 cm de ancho y 25 cm de alto. Posteriormente se instaló la cintilla (Toro Australia Pty), la cual tenía los goteros a un distanciamiento de 30 cm y un gasto de 1.2 LPH. realizó la nivelación del terreno y la formación de los surcos con una pala, un azadón y un rastrillo. La altura de la cama fue de 30 cm y ancho de 40 cm, el distanciamiento entre surco fue de 1.10 m, con una longitud total de 66 m². Una vez terminado las camas se procedió a colocar una cintilla (Netafim) con distanciamiento entre goteros de 20 cm, con un gasto de 1 LPH.

Siembra

Posteriormente a la instalación del sistema de riego, se procedió a humedecer los surcos hasta llevarlos a capacidad de campo para poder realizar la siembra. La siembra se llevó a cabo el día 8 de febrero del 2023, el distanciamiento entre las semillas fue de 15 cm a tresbolillo, cabe mencionar que se realizó la siembra de las variedades de girasol evaluadas.

3.4.- Tratamientos

Los tratamientos evaluados consistieron en la aspersión suplementaria de 1000 ppm de potasio, utilizando diferentes fuentes de fertilizantes [fosfato monopotásico (MKP), nitrato de potasio (NKS) y sulfato de potasio (SOP)] más un testigo (aspersión foliar con agua), aplicados en dos variedades de girasol de corte [Sun improved (SI) y ProCut White lite (WL)], dando así un total de ocho tratamientos (Cuadro 1). Las aspersiones foliares de potasio se dividieron en tres aplicaciones: la primera se realizó en la fase vegetativa; la segunda en la aparición del botón floral y la tercera en la apertura floral. Cabe mencionar que se utilizó una misma fertilización a base de NPK, aplicada vía riego, la cual consistió en 100 ppm de nitrógeno, 25 ppm de fósforo y 200 ppm de potasio, esta fertilización se aplicó durante 3 semanas, posteriormente se incrementó a 150 ppm de nitrógeno, 25 ppm de fósforo y 250 ppm de potasio. La aplicación de micronutrientes se realizó de manera foliar cada 15 días asperjando el producto comercial micromix a una concentración de 50 ppm.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en la aspersión foliar de 1000 ppm de potasio suplementario en dos variedades de girasol de corte.

Tratamiento	Variedad de girasol	Fuente de fertilizante de potasio	g L ⁻¹
1	WL	MKP	3.57 g
2	WL	NKS	6.63 g
3	WL	SOP	2.33 g
4	WL	Agua (Testigo)	-
5	SI	MKP	3.57 g
6	SI	NKS	6.63 g
7	SI	SOP	2.33 g
8	SI	Agua (Testigo)	-

SP= variedad Sun improved, WL= variedad ProCut White lite, MKP= fosfato monopotásico, NKS= nitrato de potasio, SOP= sulfato de potasio.

3.5.- Diseño experimental

Los tratamientos fueron distribuidos bajo un diseño de bloques completamente al azar, con arreglo factorial de 2 x 4 con tres repeticiones por tratamiento, cada repetición estuvo conformado por cinco plantas de girasol.

3.6.- Manejo del cultivo

Control de malezas

Esta labor se realizó de manera manual, cuando más del 50 % de malezas estaban emergidas sobre la superficie.

Plagas

Durante el desarrollo del experimento hubo incidencia de dos plagas trips (*Frankliniella* spp.) y mosca blanca, para su control se realizó una aplicación del químico lambda-cyhalotrina a una dosis de 1 ml L⁻¹ de agua.

3.7- Variables evaluadas

Crecimiento del girasol

A los 84 días después de la siembra se realizó la cosecha. Previó a la cosecha se realizó la evaluación de altura total de la planta, para ello se midió desde la base del tallo hasta el inicio del botón flora utilizando un flexómetro. El diámetro de tallo se midió a los 20 cm de la base de este, para esta medición se utilizó un vernier digital (modelo 1108-150).

Biomasa seca

Los tallos florales se cosecharon a los 60 cm abajo del botón floral. Para determinar el peso seco de estos tallos, primeramente, se separaron las hojas de los tallos, y se colocaron bolsas de papel estraza previamente identificadas, posteriormente las bolsas se introdujeron a un horno de secado (BLUE M POM-246.F), a una temperatura de 65 °C por 48 horas. Después el peso seco se registró utilizando una báscula digital (Torrey, PCR-40).

Concentración de iones en la savia

Para esta variable se cosecharon 8 peciolo por cada repetición en cada tratamiento. La savia de los peciolo se obtuvo utilizando un extractor de savia, posteriormente el jugo celular se colocó se colocó en los Ionometros Horiba luquatwin, para poder determinar la concentración de NO_3^- y K^+ .

Diámetro horizontal (DHV) y vertical de la flor (DVH).

Se midió la flor tomando los puntos en forma de cruz (horizontal y vertical), como referencia se utilizaron los pétalos más largos de la flor, lo cual se utilizó un vernier para la medición.

4. - Análisis estadístico

Los datos obtenidos en este experimento se sometieron un análisis de varianza (ANVA), bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 x 4, y una prueba de

rango múltiple con el comparador Tukey ($\alpha \leq 0.05$), en el programa estadísticos SAS ® versión 9.0.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las diferentes fuentes de potasio asperjados en las hojas de las plantas de girasol afectaron significativamente la altura total (AP), diámetro de tallo (DT), peso seco de hojas (PSH), concentración de K^+ y NO_3^- en la savia de peciolo, diámetro de flor vertical (DFV) y diámetro de flor horizontal (DFH). Las variedades evaluadas presentaron diferencias significativas en las variables antes mencionadas (Cuadro 1). Similar efecto se observa con la interacción entre las variedades y fuentes de potasio.

El mayor AP, DT, PSH, K^+ , DFV y DFH se obtuvieron en la variedad Sun Improved (VSI), mientras que, la concentración de NO_3^- en savia del peciolo se aumentó en la variedad White lite (VWL) (Cuadro 1).

La aspersión de fosfato monopotásico (MKP) promovió mayor AP y mayor concentración de NO_3^- en el peciolo en comparación de las otras fuentes de potasio o de las plantas testigo. Asimismo, la ampliación foliar de nitrato de potasio (NKS) incrementó DT y PSH. La concentración de K^+ en la savia se aumentó con aplicación foliar de la fuente de potasio, ya que las plantas que fueron asperjadas con agua (testigo) registró menor concentración de este ion (Cuadro 1). El tamaño de la flor fue superior en plantas que recibieron sulfato de potasio (SOP) y MKP en comparación a las que recibieron NKS, mientras que, el mayor diámetro de la flor horizontal (DFH) se obtuvo con la aplicación vía foliar de SOP (Cuadro 1).

Cuadro 2. Efecto de la aspersión foliar de tres fuentes potasio en crecimiento, biomasa seca y concentración de nitrato (NO_3^-) y potasio (K^+) en dos variedades de *Helianthus annuus* L.

Variedad	Altura total (cm)	Diámetro Tallo(mm)	K^+ (ppm)	NO_3^- (ppm)	PSH (g)	D.F.V (mm)	D.F.H (mm)
WL	93.0b	12.0b	4345.0b	943.0a	13.0b	75.0b	78.0b
SI	153.0a	15.0a	5901.0a	689.0b	20.0a	108.0a	108.0a
ANVA $p \leq$	0.001	0.0001	0.001	0.0001	0.0001	0.001	0.001
Fuentes de potasio							
NKS	125.0b	15.8a	5765.0a	645.0c	19.0a	85.0b	92.0b

MKP	139.0a	13.2b	5675.0a	1069.0a	15.0b	94.0a	92.0b
SOP	117.0c	13.4b	5367.0a	728.0bc	16.0b	94.0a	96.0a
Agua	112.0d	14.2b	3685.0b	824.0b	17.0ab	93.0a	94.0ab
ANVA $p \leq$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0029	0.0001	0.0243
Interacción $p \leq$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0106	0.0001	0.0001

ANVA= Análisis de varianza, Interacción=Fuentes de potasio*variedades de girasol, SI= variedad Sun improved, WL= variedades White lite, MKP= fosfato monopotásico, NKS= nitrato de potasio, SOP= sulfato de potasio, DFV = Diámetro de flor vertical, DFV=Diámetro de flor horizontal, PSH= peso seco de la hoja.

3.3 Altura de planta

La mayor altura de la planta se presentó con la aspersión de NKS en la variedad Sun Improved a diferencia de las otras plantas que recibieron otras fuentes de potasio (Figura 1). En la variedad White Lite obtuvo menor tamaño de planta, sin embargo, la aspersión de MKP mostró un ligero aumento de la altura. El incremento de la altura de las plantas de girasol pudo ser debido al que el potasio estimula la elongación celular. Ya que Ramírez et al. (2018) señalan que, la fertilización con NKS promueve significativamente la elongación del tallo, lo que se traduce en un aumento de la altura total de las plantas. Además, el NO_3 como ion acompañante de K^+ influye significativamente en la producción de giberelinas. Según Taiz y Zeiger (2010) reportan que, el nitrato actúa como señalizador molecular que regula la producción de giberelinas, aumentando la actividad de la enzima GA 3 β -hidroxilasa que promueve la elongación celular provocando una estimulación en el crecimiento de las plantas, principalmente por la división y alargamiento celular. No obstante, Alia-Tejacal (2011) mencionan que, las aplicaciones de AG mayores de 2 mg L⁻¹ presentan un mayor incremento en el tamaño de los brotes y de la planta.

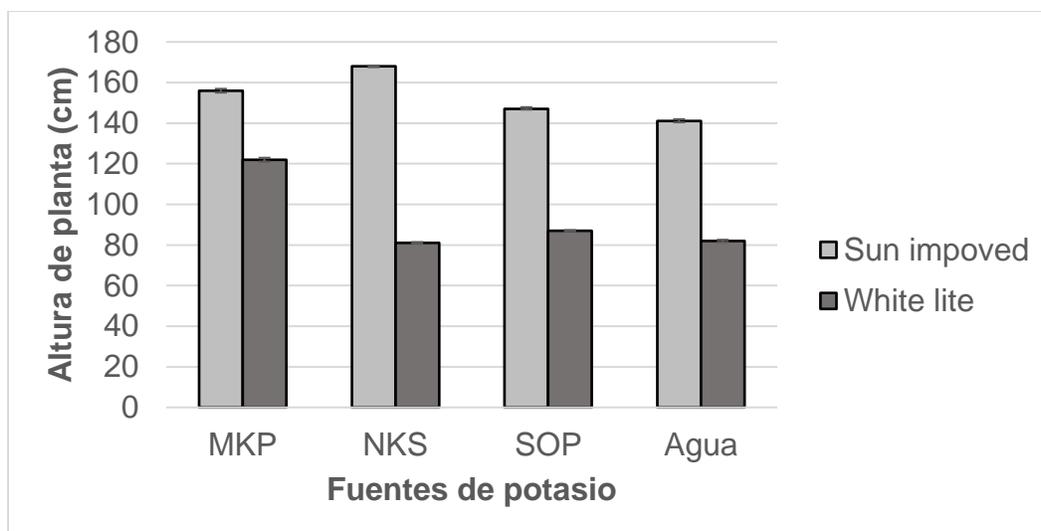


Figura 1. Efecto de la aspersión foliar de diferentes fuentes de potasio sobre la altura de la planta en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.

3.4 Diámetro de tallo

El mayor incremento de diámetro de tallo se obtuvo con la aspersión del NKS en la variedad Sun Improved en comparación de las plantas que recibieron otra fuente de potasio y de las plantas testigo (Figura 2). Mientras que, el DT de la variedad White Lite se obtuvo un incremento al asperjar MKP, pero este aumento no fue superior con la aplicación de NKS en la VSI. Rodríguez et al. (2020) menciona que, la aspersión de nitrato de potasio promueve el desarrollo del tallo mediante el fortalecimiento de la pared celular e incremento de la lignificación que conlleva la mejora en la deposición de compuestos estructurales. Sin embargo, Hernández-García *et al.* (2020) mencionan que la aplicación foliar mejora la expresión de genes relacionados con la expansión celular, es por tal motivo que el diámetro de tallo aumenta significativamente. Y Valdez-Cepeda et al. (2011) reporta que, el potasio mejora significativamente el desarrollo estructural de tallos de girasoles, incrementando así el diámetro y resistencia mecánica estimulando el crecimiento celular, por lo que el nitrato de potasio promueve la expansión del tejido meristemático del tallo.

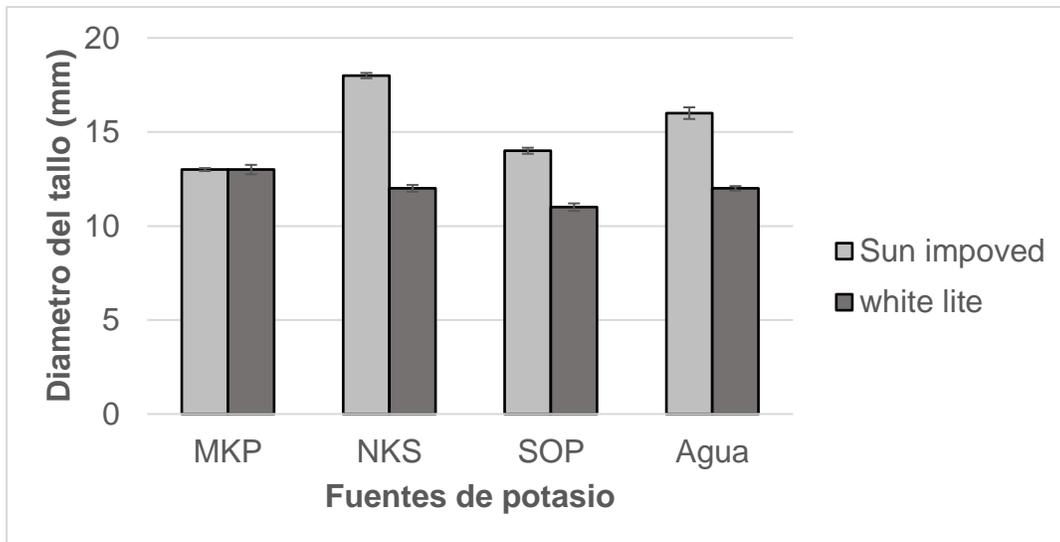


Figura 2. Efecto de la aspersión foliar de diferentes fuentes de potasio sobre el diámetro de tallo en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.

3.5 Peso seco foliar

Las aspersiones foliares de NKS y SOP se obtuvieron mayor peso seco de hoja con 21 gramos en la variedad Sun Improved mientras que, las plantas testigo registró un valor similar 22 g. Por otra parte, en la variedad White Lite se registró un incremento de su peso seco de hoja con la aplicación foliar de KNO_3 con 17 g a diferencia de las otras fuentes de potasio y de las plantas testigo (Figura 3). La mayor biomasa seca de hoja se presentó en la variedad Sun Improved, independientemente a los tratamientos aplicados. Estos resultados concuerdan por lo reportado por Aleem et al (2024) quienes señalan que, la aspersión foliar de diferentes fuentes de potasio en plantas de girasol aumenta el crecimiento y el contenido de aceites en las semillas. Asimismo, el potasio juega un papel fundamental en la producción de biomasa y en la calidad de las plantas ya que, Castro et al. (2009) reportan que las aspersiones de potasio pueden aumentar hasta un 35% el peso seco foliar mejorando así la distribución de biomasa e incrementación a la tolerancia al estrés. Havlin et al. (2013), menciona que el potasio es crucial para la activación de enzimas involucradas en la fotosíntesis y Buchanan et al. (2015) señalan que, la sacarosa es el principal carbohidrato de transporte en plantas que Interviene en la distribución de energía entre diferentes tejidos y además contribuye significativamente a la acumulación de biomasa y peso seco por lo

que un adecuado suministro de potasio aumenta la eficiencia fotosintética y promueve un mayor desarrollo de las hojas.

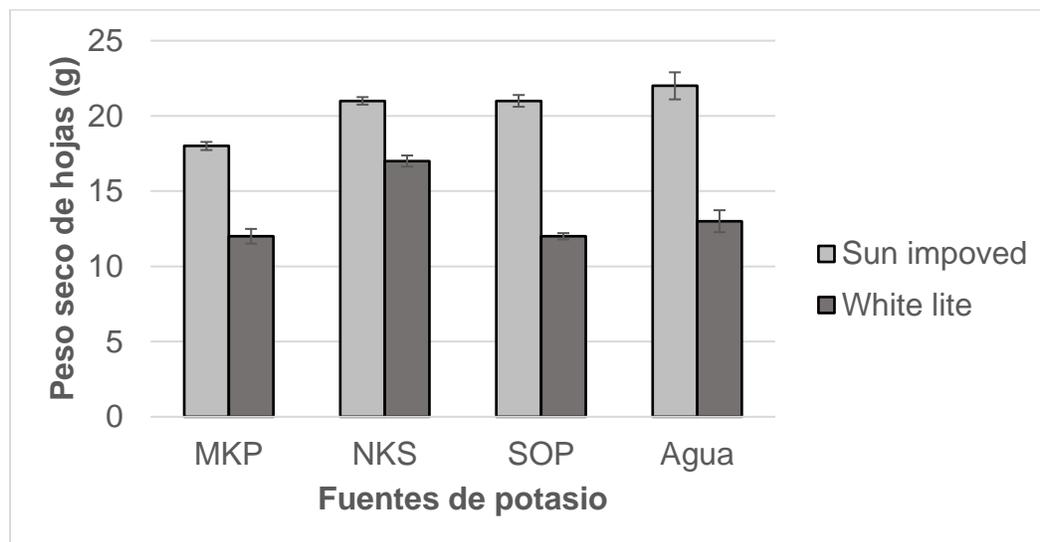


Figura 3. Efecto de la aspersion foliar de diferentes fuentes de potasio sobre el peso seco de las hojas en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.

3.2 Concentración de NO_3^- en la savia

La mayor concentración de NO_3^- en el peciolo se obtuvo con la aspersion foliar de MKP en la variedad White Lite comparado de las plantas que recibieron otra fuente de potasio y de la variedad Sun Improved, esta variedad presentó las menores concentraciones de NO_3^- independientemente de la aspersion de las fuentes de potasio (Figura 4). La menor concentración de NO_3^- en la savia de la variedad Sun Improved puede ser debido de un efecto dilución ya que, las plantas de esta variedad presentan mayor altura (Figura 1), mayor diámetro de tallo (Figura 2) y mayor peso seco de hojas (Figura 3).

Por otra parte, la mayor concentración de NO_3^- que se presentó en la savia puede ser debido a que el fosfato estimula la actividad de la enzima Nitrato Reductasa, es decir, el fosfato monopotásico activa la enzima nitrato reductasa, principal responsable de la asimilación de nitrógeno, lo que provoca un aumento en la captación y transporte de nitratos (García y López, 2020). Rodríguez-Pérez et al. (2019) señalan que, la aplicación

foliar de MKP incrementa hasta 25-30 % de la concentración de nitratos en la savia del peciolo.

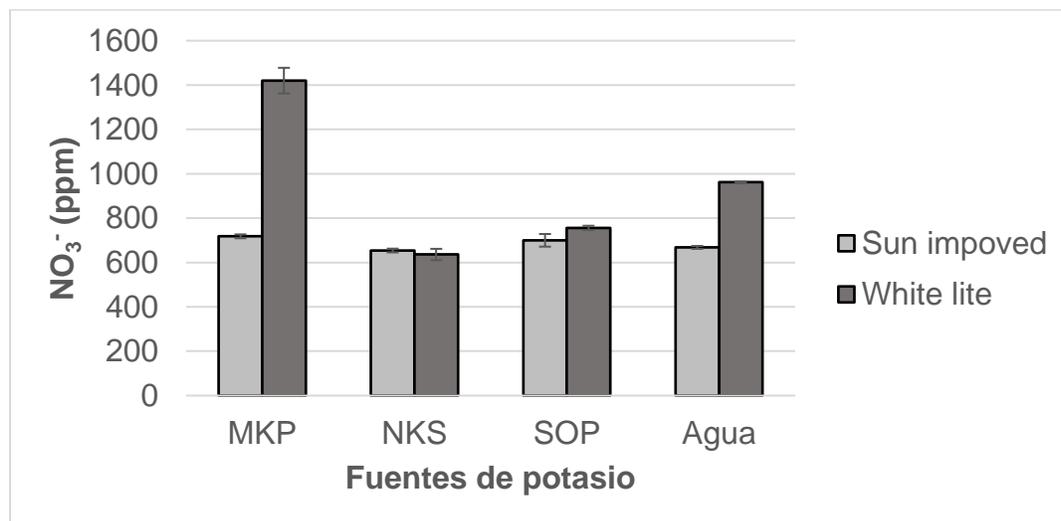


Figura 4. Efecto de la aspersion foliar con diferentes fuentes de potasio sobre la concentración de nitrato (NO_3^-) en la savia del peciolo en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.

3.1 Concentración de K^+

La mayor concentración de K^+ en la savia del peciolo se obtuvo con la aspersion de MKP y NKS en la variedad sun improved registrando un valor igual a 6930 ppm en comparación a las demás plantas que recibieron SOP y plantas testigo (Figura 1). Sin embargo, la variedad White lite presentaron una menor concentración de potasio en la savia independientemente de la fuente de potasio asperjada, aunque se obtuvo un incremento ligero en comparación al testigo (figura 1). En general, la variedad Sun improved se presentó una mayor concentración de K^+ , de manera que, dicha variedad tiene mayor capacidad de adsorción de este nutrimento. Reza y Hossein (2023) señalan que, la absorción foliar de K se ve afectada por la fuente de fertilizante potásica y el pH de la solución en plantas de pistacho. Por su parte Römheld y Kirkby (2010) reportaron que, la aspersion foliar de nitrato de potasio incrementa significativamente la concentración de potasio en los tejidos vegetales, especialmente en estructuras como peciolos y nervaduras logrando así altas concentraciones de K^+ en la savia de las plantas.

Asimismo, García-López *et al.* (2020) indican que, la aspersión de NKS incrementa significativamente la concentración de potasio en el xilema y floema de manera que mejora la conductancia estomática y la eficiencia fotosintética aumentando la concentración de potasio en el tejido. Fernández-Escobar *et al.* (2018) menciona que, el promedio de absorción inicial es de 1-2 horas después de la aspersión y la absorción máxima va 4-6 horas posteriores a la aplicación para obtener una buena concentración de K^+ en el tejido foliar.

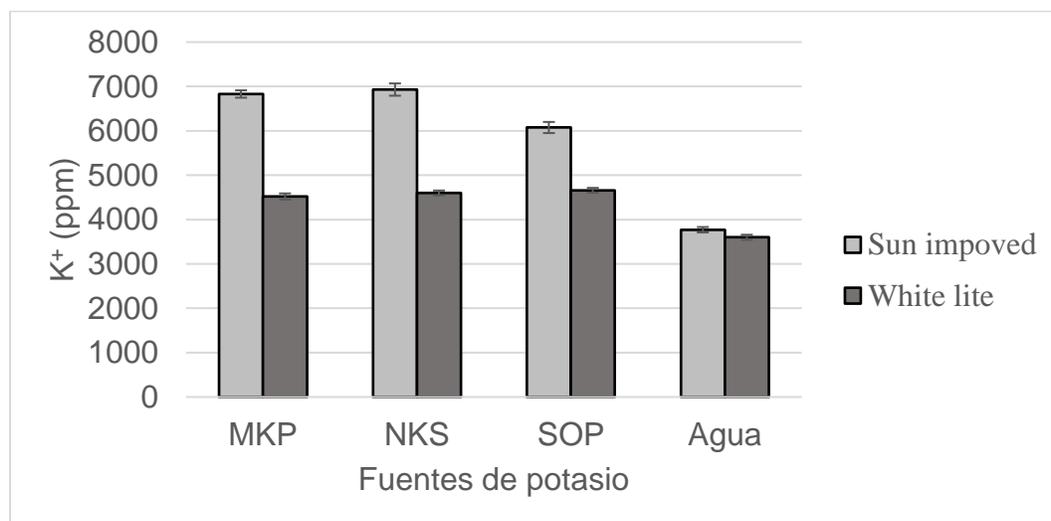


Figura 5. Efecto de la aspersión foliar con diferentes fuentes de potasio sobre la concentración de potasio (K^+) en la savia del peciolo en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.

3.5 Diámetro flor vertical

El diámetro flor vertical de girasol de la variedad Sun Improved presento un ligero incremento con la aplicación foliar de SOP en comparación de otras fuentes potasio y de las plantas testigo (Figura 6). Por otro lado, la variedad White Lite presentaron menor diámetro flor, aunque este menor tamaño aún se acentúa más con la aplicación de NKS (Figura 6). El sulfato de potasio (SOP) influye significativamente en el desarrollo floral mediante varios procesos fisiológicos. Por lo que, Sánchez-García *et al.* (2021) mencionan que, la aplicación de SOP incrementa el diámetro floral vertical mediante la estimulación del crecimiento celular, asimismo el SOP mejora la elongación de estructuras florales promoviendo la división celular en meristemas apicales. Además, el

potasio interviene en varios procesos fisiológicos que promueven el crecimiento y expansión de las flores, así como la activación de las hormonas vegetales, especialmente las auxinas, que son fundamentales en el proceso de expansión celular y crecimiento (Hopkins y Hüner, 2008).

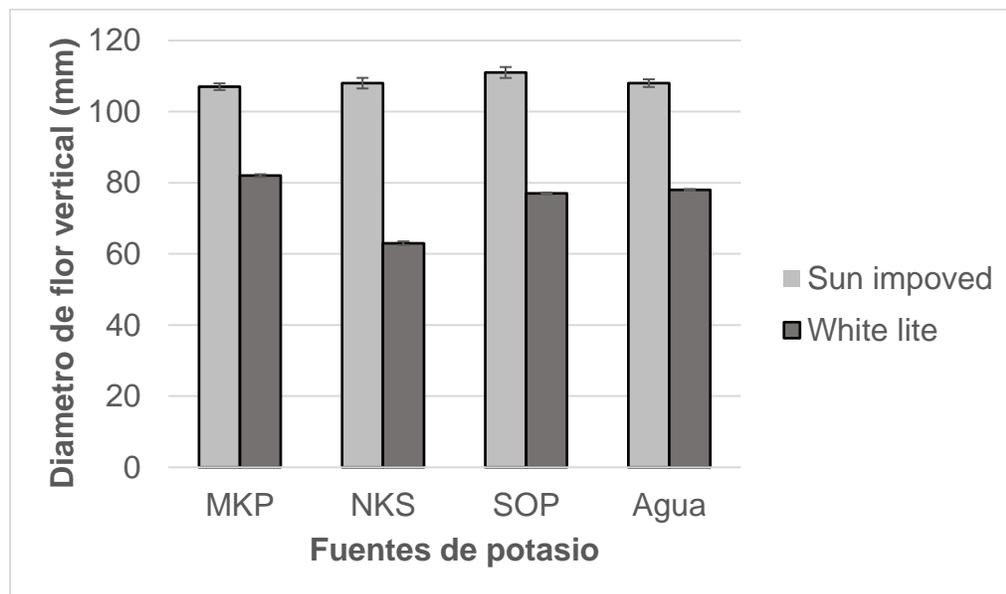


Figura 6. Efecto de la aspersión foliar de diferentes fuentes de potasio sobre el diámetro de flor vertical en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.

3.6 Diámetro de flor horizontal

El diámetro flor horizontal presento un aumento con la aspersión de SOP comparado con la aspersión de MKP y de las plantas testigo en la variedad Sun Improved (Figura 7). Mientras que, la variedad White Lite con la aspersión de MKP y de los testigos lograron un ligero incremento sobre las demás fuentes de potasio (Figura 7). El incremento del diámetro se debió a que el sulfato de potasio juega un papel crucial en el desarrollo y crecimiento de las plantas, especialmente en girasol (*Helianthus annuus*), influyendo significativamente en su morfología y desarrollo floral. Ya que, Cantarella et al. (2021) menciona que, el potasio es un nutriente esencial que regula varios procesos fisiológicos, incluyendo la elongación celular por lo que, el SOP promueve la extensión de células en el tallo y los pétalos, lo que puede influir directamente en el crecimiento horizontal de la flor de girasol. Por otro lado, la osmorregulación la cual se trata de la capacidad de la

planta para mantener el equilibrio hídrico, lo que es fundamental para un crecimiento uniforme y simétrico. Mientras que, Akman et al. (2017) reporta que, la incorporación de KSO_4 estimula el desarrollo de las estructuras laterales, promoviendo así una mayor área foliar y ramificación en la flor de girasol.

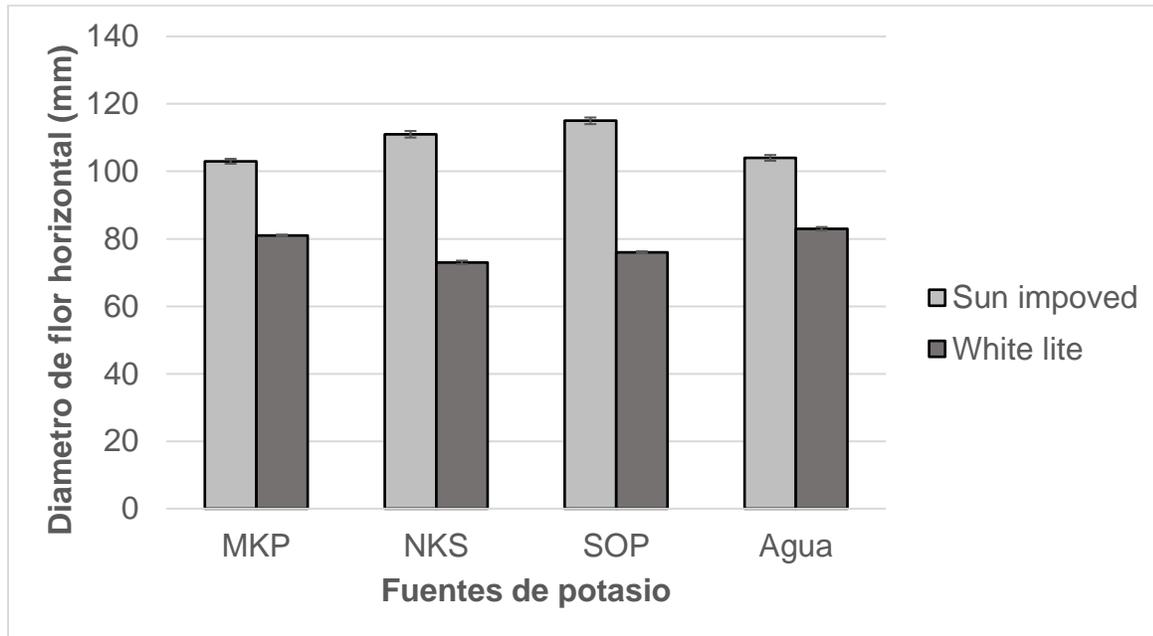


Figura 7. Efecto de la aspersion foliar de diferentes fuentes de potasio sobre el diámetro de flor horizontal en dos variedades de girasol. Las barras indican el error estándar de la media.

IV. CONCLUSIÓN

La aspersión de NKS aumentó considerablemente el diámetro de tallo, la concentración de potasio en la savia de peciolo y el peso seco de las hojas. El mayor tamaño de la flor se incrementó con la aplicación de foliar de SOP.

La variedad Sun Impoved presenta mejor crecimiento y calidad de flor. Esta misma variedad presenta aumentos en la altura, diámetro de tallo, concentración de potasio con la aspersión NKS, mientras que, la aspersión de MKP mejora la concentración de nitratos en la savia y el tamaño de la flor fue favorecido por la aplicación foliar de MKP.

Con la aspersión de potasio es posibles mejorar el crecimiento y calidad de la flor, pero depende de las fuentes de potasio a utilizar y de la variedad de esta especie de flor de corte.

LITERATURA CITADA

Arenas-Julio, Y. R., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Carpio, C., Rodriguez-Gonzalez, M. T., y Sosa-Montes, E. (2021). Rentabilidad y rendimiento de girasol en función del tipo de suelo, nitrógeno y biofertilizante. *Biotecnia*, 23(1): 45-51.

Agrovitra. (2020). La gran importancia del potasio en las plantas. <https://www.agrovitra.com/media/2022/12/Potasio-Fernanda-Habit.pdf>. (Noviembre, 2020).

Aleem, M. (2024). Impact of nitrogen management and plant growth regulators on seed yield, oil content, and fatty acid profile of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 47(3): 456-472.

BADIAS, J. G. (2006). EL GIRASOL OLEOGINOSO. EL GIRASOL OLEOGINOSO. MISTERIO DE GRICULTURA, MADRID, ESPAÑA.

Buchanan, B. B., Gruissem, W., and Jones, R. L. (2015). *Biochemistry and molecular biology of plants*. American Society of Plant Biologists.

Coronel, A. N. L. (2003). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas. *La granja*, 2(1): 23-24.

Cakmak, I. (2010). Potassium for better crop production and quality. *Plant and Soil*, 335(1): 1-2.

Castillo, R. G. M., Marín, G. P., y León, R. G. (2013). Absorción de nutrientes a través de la hoja. *Uniciencia*, 27(1): 232-244.

Castro, H., Rodríguez, M., and Sánchez, E. (2009). Potassium foliar nutrition and its impact on plant biomass. *Journal of Plant Nutrition*, 32(6): 1020-1035.

Cantarella, H. (2021). Nitrogen nutrition of sugarcane grown under conditions of potassium deficiency in a long-term experiment. *Scientific Reports*, 11(1): 1-12.

Cabrera, D. M., Pérez-Ríos, S. R., y Domínguez-Narváez, J. A. (2023). Producción de flor ornamental de *Lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*) y *Freesia* (*Freesia x hybrida*)

empleando aguas residuales como alternativa económica y ambiental en el valle del Mezquital. XAHNI Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 6, 1(1): 12-16.

Dong, S., Zhang, B., Hou, W., Zhou, X., and Gao, Q. (2024). Differential Effects of Sulfur Fertilization on Soil Microbial Communities and Maize Yield Enhancement. *Agronomy*, 14(10): 2251.

Díaz-Zorita, M., y Duarte, G. (2002). Manual práctico para el cultivo de girasol.

Dyer, H. J., Skok, J., and Scully, N. J. (1959). Photoperiodic behavior of sunflower. *Botanical Gazette*, 121(1): 50-55.

Damián Martínez Heredia, José Alberto Ávila Miramontes, Jesús Manuel Ávila Salazar, Francisco José Rivas Santoyo. (2014). EL CULTIVO DE GIRASOL SISTEMAS DE PRODUCCION EN EL NOROESTE DE MEXICO. UNIVERSIDAD DE SONORA.

Fernández, V., Sotiropoulos, T., y Brown, P. (2015). Fertilización foliar. Principios científicos y prácticas de campo. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). Paris, Francia, 49-82.

Fernández-Escobar, R., Castro, J., and Montoya, J. (2018). Potassium foliar absorption kinetics in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, 41(7): 1056-1070.

Fernández E., Palomar, S. y Puertas, M. 1998. Ensayo de fertilización AMECsystem en calabacín. *Horticultura*. 17(4), 61--64.

Fournier, J., Roldán, A., Sánchez, C., Alexandre G. and Benlloch, M. 2005. K⁺ starvation increases water uptake in whole sunflower plants. *Plant Sci*. 168(3): 823--829.

Fairweather, T. D., and Hojjatie, M. M. (2013). U.S. Patent No. 8,545,591. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Goyne, P. J., and Hammer, G. L. (1982). Phenology of sunflower cultivars. II. Controlled-environment studies of temperature and photoperiod effects. *Australian Journal of Agricultural Research*, 33(2): 251-261.

Guy Sela. (2021). Fertilización foliar. <https://croapaia.com/es/blog/fertilizacion-foliar/>. (29 01, 2021).

García-López, J., Rodríguez, M., and Martínez, A. (2020). Potassium nitrate foliar application effects on plant sap composition. *Plant and Soil Research*, 45(3), 267-279

García Gaytán, V., Valdovinos Ponce, G., Rodríguez Mendoza, M. D. L. N., Pedraza Santos, M. E., Trejo Tellez, L. I., y Soto Hernández, M. (2013). Rutas de la penetración foliar en la fertilización de la orquídea *Cymbidium sp.*(Orchidaceae). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE5): 913-924.

Girón, D. J. (2023). Caracterización morfológica de una accesión de girasol silvestre (*Helianthus annuus L.*) con presencia de androesterilidad.

Hernández-García, J., Martínez-López, R., and Sánchez-Rodríguez, M. (2020). Potassium nitrate foliar application effects on sunflower stem development: Molecular and morphological insights. *Plant Science*, 302, 110-125.

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., and Beaton, J. D. (2013). Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management (8th ed.). Pearson.

Hopkins, W. G., and Hüner, N. P. A. (2008). *Introduction to plant physiology* (4th ed.). John Wiley & Sons.

INTAGRI. 2021. Cultivo de Girasol en México. Serie Cereales, Núm. 49. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.

Luévanos E. M. P., M. H. Reyes V., J. A. Villarreal Q. y R. Rodríguez Herrera. 2010. Obtención de híbridos intergenéricos *Helianthus annuus x Tithonia rotundifolia* y su análisis morfológico y molecular. *Acta botánica mexicana*. 90 (1). 105 – 118.

Martínez Álvarez, T (2023). Efecto de la aspersion foliar de calcio y potasio en el crecimiento y calidad de flor de girasol (*Helianthus annuus*).

Marschner, P. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants.3nd. Edition.Elsevier.Oxford, UK. 645 p.

Marschner, P. (2011). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.

Mijić, A., Liović, I., Kovačević, V., and Pepo, P. (2012). Impact of weather conditions on variability in sunflower yield over years in eastern parts of Croatia and Hungary. *Acta Agronomica Hungarica*, 60(4): 397-405.

Manning, D. A. (2010). Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30, 281-294.

Nungula, E. Z., Massawe, B. J., Chappa, L. R., Nhunda, D. M., Seleiman, M. F., Ali, N., and Gitari, H. I. (2024). Optimizing sunflower production through the use of GIS-based soil fertility management strategy. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1): 2390685.

PortalFruticola. (2018). Manual básico del cultivo del girasol para flor cortada. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/03/27/manual-basico-del-cultivo-del-girasol-para-flor-cortada/>. (27 marzo, 2018).

Ramírez, C., Torres, A., & Mendoza, S. (2018). Fertilización y crecimiento vertical en girasoles. *Journal of Agricultural Science*, 22(4): 112-128.

Reza, M. H., and Hossein, A. (2023). Impact of potassium fertilizer sources on foliar nutrient adsorption and plant physiological responses. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 186(4): 412-428.

Rodríguez, J., Sánchez, M., y Torres, P. (2020). Impacto del nitrato de potasio en la morfología vegetal. *Investigaciones Agrobiológicas*, 38(3): 201-215.

Rodríguez, J., y Pérez, (2019). Impacto del nitrato de potasio en la morfología vegetal. *Investigaciones Agrobiológicas*, 38(3), 201-215.

Römheld, V., and Kirkby, E. A. (2010). Nutrient dynamics and absorption in plant tissues: Focus on potassium nitrate interactions. *Journal of Plant Nutrition*, 33(9): 1325-1342.

Santos, A. T., y Manjarrez, D. A. (1999). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3): 247-255.

Sánchez-García, P., Ramírez-Contreras, E., & Núñez-Paleniús, H. G. (2021). Potassium sulfate effects on ornamental flower morphometry. *Scientia Horticulturae*, 276, 109-118.

Schönherr, J. (2006). Water and Solute Penetration through Plant Cuticles: A Principal Problem of Biology. *Journal of Experimental Botany*, 57(11): 2683-2696.

Sutradhar, A., Lollato, R. P., Butchee, K., and Arnall, D. B. (2014). Determining critical soil pH for sunflower production. *International Journal of Agronomy*, 2014(1): 894-196.

Segura, Á. (2002). Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Dado que el acceso y el flujo de la información sobre investigaciones recientes en el área agrícola es restringida o de alto costo, el laboratorio periódicamente realiza seminarios, cursos de capacitación y talleres, que sean de acceso a estudiantes, productores, profesionales y público general, para actualizarlos en temas de interés mutuo y difundir información específica y de interés para el sector agrícola., 18.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*.

Universitario de Ciencias Biológicas, C. (1980). Análisis y perspectivas del cultivo del girasol (*helianthus annus*) en México.

Valdez-Cepeda, R. D., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., García-Hernández, J. L., y López-Cortés, A. (2011). Respuesta de tres variedades de girasol a la fertilización potásica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(4): 243-250.

Wien, H. C. (2014). Screening ornamental sunflowers in the seedling stage for flowering reaction to photoperiod. *HortTechnology*, 24(5): 575-579.

Wakeel, A., Gul, M. and Zörb, C. (2016). Potassium for sustainable agriculture. *Soil science: Agricultural and environmental perspectives*, 159-182.