

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



IMPACTO DE UNA PELÍCULA FOLIAR DE CAOLÍN Y LA TENSIÓN DE
HUMEDAD DEL SUELO EN LA TEMPERATURA Y CONTENIDO DE
CLOROFILA EN UN CULTIVO DE CALABACITA

Tesis

Por:

JUAN CARLOS TRINIDAD REYES

Como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

IMPACTO DE UNA PELÍCULA FOLIAR DE CAOLÍN Y LA TENSIÓN DE
HUMEDAD DEL SUELO EN LA TEMPERATURA Y CONTENIDO DE
CLOROFILA EN UN CULTIVO DE CALABACITA

Por:

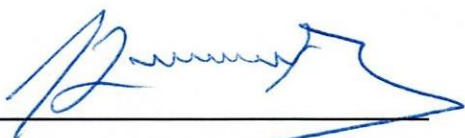
JUAN CARLOS TRINIDAD REYES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el H. Jurado Examinador:



Dr. Alejandro Zermeno González.

Asesor Principal



Dr. José Alexander Gil Marín



Dr. Luis Samaniego Moreno

Asesor



M.C Luis Armando Moreno Ibarra

Asesor



M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Asesor

Mayo 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

IMPACTO DE UNA PELÍCULA FOLIAR DE CAOLÍN Y LA TENSIÓN DE
HUMEDAD DEL SUELO EN LA TEMPERATURA Y CONTENIDO DE
CLOROFILA EN UN CULTIVO DE CALABACITA

Por:

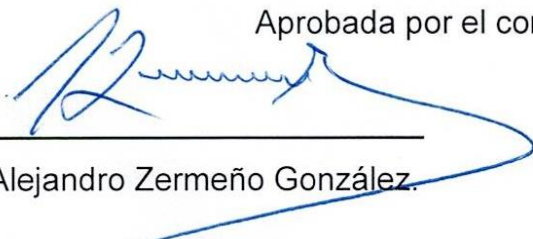
JUAN CARLOS TRINIDAD REYES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

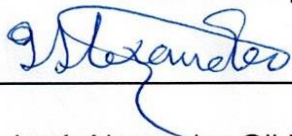
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el comité de Asesoría



Dr. Alejandro Zermeño González.

Asesor Principal



Dr. José Alexander Gil Marín

Asesor



Dr. Luis Samaniego Moreno

Asesor



M.C Luis Armando Moreno Ibarra

Asesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo 2025

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no 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 y prestado los datos o la tesis para presentarla como propio, omitir referencia bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas, videos, ilustraciones gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/fuente, así mismo tengo conocimientos de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, edición o modificación, será sancionado por las autoridades correspondientes.

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

Pasante.



Juan Carlos Trinidad Reyes

AGRADECIMIENTOS

A mi *alma mater* por darme la oportunidad de estudiar una carrera, por ser mi segundo hogar y por brindarme todas las facilidades para poder concluir satisfactoriamente mis estudios. Por ser parte de la familia buitres y formar parte de una pequeña historia dentro de esta institución.

Al Dr. Alejandro Zermeño González, por darme la oportunidad de realizar este trabajo, y por todo el conocimiento compartido antes, durante y después.

Al Dr. José Alexander Gil Marín, por apoyarnos con todo su conocimiento y sabiduría.

Al M.C. Armando Moreno, por compartir todo su conocimiento y por tener la paciencia para guiarnos en aquello que desconocíamos.

A mis amigos de la carrera: Saúl Moreno, Adriana García, Ismael Martínez, Jesús Roblero, Nayeli Ramírez, Felipe Cruz, Luis Heredia, Daniel Espinoza, Joel Sebastián, Heriberto Antonio, Ángel Rodríguez y Óscar Rodríguez. Gracias por hacer que todo este tiempo y estas experiencias valieran aún más la pena.

A mis amigos de la universidad: Jaziel Ovilla, Christian Michaca, Max Altunar, Ervidan Pérez, Diana Aguirre y Cristal Aguilar. Gracias por ser un apoyo incondicional en los momentos difíciles que tuve a lo largo de mi carrera. Nunca olvidaré todo lo que hicieron por mí.

A todas aquellas personas que, en algún momento de mi vida universitaria, intervinieron para apoyarme y escucharme:

GRACIAS.

DEDICATORIAS

A mis padres: **Patricia Reyes Bautista y Nicolás Trinidad Valladares**

Gracias por su amor, paciencia y sacrificio en cada paso de mi camino. Sin su apoyo y enseñanzas, este logro no sería posible. Me alentaron a soñar en grande y a creer en el esfuerzo con el corazón. Los amo y siempre les estaré agradecido.

A mis hermanas: **Patricia, Valeria y Nathali**

Gracias por ser mi ejemplo, mi fuerza y mi refugio, incluso en la distancia. Sus palabras, consejos y cariño moldearon la persona que soy hoy. No me alcanzará la vida para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Las amo con todo mi ser. Son, y siempre serán, lo mejor que me ha pasado.

A mi mejor amiga, **Kelly**:

Por acompañarme durante esta aventura, siempre que necesitaba palabras de aliento estuviste para mí. Gracias por todas tus ocurrencias y regaños.

Te amo.

A **Bárbara**:

Llegaste a mi vida en el mejor momento, agradecerte por dejarme ser tu amigo y tener tu confianza. Gracias por todo el apoyo ante cualquier situación, te quiero mucho.

A mi abuelo: **Juan Trinidad Morales**

Hubiera querido que estuvieras conmigo, Papá Juan. Estés donde estés, hoy puedo decirte: lo logramos. Gracias a ti comenzó esta aventura, y sé que desde algún lugar me ves culminarla. Los mejores momentos de mi vida los viví a tu lado; me hiciste sentir el mejor nieto del mundo. Tus enseñanzas y ejemplo siguen guiándome, dándome fuerza para enfrentar la vida. Te amo, Papá Juan. Siempre llevaré con orgullo tu nombre y apellido.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIAS	V
INDICE GENERAL.....	VI
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS.....	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Características del caolín.....	4
Aplicaciones del caolín en la agricultura.....	4
Efecto del caolín en la temperatura foliar	4
Efecto del caolín en el contenido de clorofila y la tasa de fotosíntesis	5
Tensión de humedad del suelo, temperatura foliar, transpiración y fotosíntesis con la aplicación foliar de caolín	6
Clasificación taxonómica de la calabacita	7
Importancia del cultivo	7
Importancia económica y social del cultivo	8
Estadísticas de rendimientos.....	8
Países a los que se exporta	9
Países productores de calabacita.....	9
Valor nutricional.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Localización del sitio experimental	11
Características físico-químicas del suelo y del agua	11
Establecimiento y manejo del cultivo	11
Temperatura de la hoja y Contenido relativo de clorofila (SPAD).....	14

Análisis estadístico	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
Temperatura de la hoja.....	16
Comparación de medias de los tratamientos.....	18
Contenido Relativo de Clorofila	20
CONCLUSIONES	23
BIBLIOGRAFÍA.....	24

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tiempos de riego para los diferentes tratamientos de tensión hídrica del suelo.	12
Cuadro 2. Solución nutritiva aplicado al cultivo de calabacita cv. Carola F1. ...	13

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista en planta del área de estudio, con la distribución de los tratamientos en los diferentes bloques.	14
Figura 2. Efecto de la Tensión de humedad del suelo y película de partículas (Caolín) en la temperatura de las hojas de plantas de calabacín (cv Carola F1). A). Efecto de los factores principales B). Interacción de los factores principales y C).	17
Figura 3. Temperatura de las hojas del cultivo Calabacín (híbrido Carola F1) con y sin película de caolín a lo largo del día (promedios de 30 min de mediciones de 1 s) del 21 al 25 de junio de 2023.	19
Figura 4. Tensión de humedad del suelo y películas de partículas (Caolín) en el contenido relativo de clorofila de hojas de plantas de calabacín (cv Carola F1). A). Efecto de los factores principales B). interacción de los factores principales y C).	21

RESUMEN

Bajo la hipótesis de que la aplicación foliar de una película de caolín disminuye la temperatura foliar y mejora las condiciones fotosintéticas de las plantas, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dicha aplicación y de tres niveles de tensión de humedad del suelo para la aplicación de los riegos sobre la temperatura foliar y el contenido relativo de clorofila en un cultivo de calabacita (*Cucumis pepo* L.), híbrido Carola F1.

El trabajo se realizó durante el ciclo de verano de 2023, en el campo agrícola experimental “Jardín Hidráulico” del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas. La parcela principal correspondió a la tensión de humedad del suelo para la aplicación de los riegos, con tres niveles: 20, 35 y 45 kPa, medidos con tensiómetros a una profundidad de 20 cm. Las subparcelas correspondieron al uso de caolín con dos niveles: con y sin película foliar de caolín, para un total de seis tratamientos con cuatro repeticiones.

Los resultados del estudio mostraron que, independientemente del nivel de tensión de humedad del suelo, la aplicación de una película foliar de caolín en las plantas de calabacita híbrido Carola F1 disminuyó la temperatura foliar e incrementó las unidades SPAD, en comparación con las plantas que no recibieron dicha aplicación.

Palabras clave: caolín, tensión de humedad del suelo, tensiómetro, temperatura foliar, contenido de clorofila, *Cucumis pepo* L.

ABSTRACT

Under the hypothesis that the foliar application of a kaolin film decreases leaf temperature and improves photosynthetic conditions of plants, the objective of this study was to evaluate the effect of foliar application of a kaolin film and three levels of soil moisture tension for irrigation application, on leaf temperature and relative chlorophyll content of a zucchini crop (*Cucumis pepo* L.), hybrid Carola F1. The work was carried out during the 2023 crop summer cycle in the experimental agricultural field (Hydraulic Garden) of the Irrigation and Drainage Department of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. A randomized block design with a split-plot arrangement was used, with the main plot being the soil moisture tension for irrigation application at three levels: 20, 35, and 45 kPa (measured with tensiometers at a soil depth of 20 cm). Subplots were the kaolin application at two levels, with and without a kaolin leaves film, for six treatments with four replicates. The results of the study showed that, for any level of soil moisture stress, the application of a kaolin foliar film on the leaves of zucchini plants hybrid F Carola, decreased the leaves temperature and increased the SPAD units compared to the leaves of the plants that did not receives the kaolin film.

Key words: Kaolin, soil moisture tension, tensiometer, foliar temperature, chlorophyll content, *Cucumis pepo* L.

INTRODUCCIÓN

Las recientes tendencias de calentamiento y los patrones climáticos erráticos en la producción agrícola han evocado la necesidad de prácticas culturales adaptativas que mitiguen las influencias nocivas del clima (Shellie, 2015). Optimizar la eficiencia en el uso del agua (EUA), particularmente en regiones áridas y semiáridas, es fundamental, ya que en estas zonas el agua es el factor más limitante para la producción agrícola (Brillante et al., 2016; Bodner et al., 2015; Medrano et al., 2015). Se pueden lograr ahorros para aumentar la eficiencia del uso del agua mediante una gestión cuidadosa. Las plantas utilizan el agua de manera prodigiosa, especialmente en las regiones áridas y semiáridas, ya que solo aproximadamente el 5 % del agua consumida se utiliza para su crecimiento y desarrollo, mientras que el 95 % restante se pierde a la atmósfera a través de la evapotranspiración (AbdAllah, 2017). Por lo tanto, el potencial de reducción del consumo de agua de la planta mediante la aplicación de antitranspirantes es importante (Mikiciuk et al., 2015; Brillante et al., 2016; Glenn et al., 2001; Glenn, 2010; Faralli et al., 2016; AbdAllah, 2017). Muchos estudios han demostrado que los antitranspirantes son útiles para regular el estado hídrico de las plantas y contrarrestar el efecto nocivo del estrés hídrico y/o del estrés por calor, preservando el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Abdel-Fattah, 2013; Mikiciuk et al., 2015). De hecho, el uso de antitranspirantes mostró posibilidades particulares para conservar la humedad del suelo durante más tiempo y posponer así el inicio de la sequía, lo que resulta en una mayor eficiencia en el uso del agua (Faralli et al., 2016; Mikiciuk et al., 2015; Jifon y Syvertsen, 2003; Borai et al., 2015; Lukic et al., 2012; Glenn, 2010; Brillante et al., 2016). Uno de los antitranspirantes más utilizados para conservar el agua del suelo son las películas de caolín (Glenn, 2016).

El caolín es un material antitranspirante y reflectante; se trata de una arcilla de ingeniería (un filosilicato de aluminio, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Cuando se rocía, cubre las hojas y frutos con finas películas de nanopartículas (Boari et al., 2015; Glenn y Puterka, 2005; Brillante et al., 2016). Al someter el caolín a un proceso de

calentamiento, el silicato adquiere un color blanco y se potencian sus propiedades reflectantes a la luz (Glenn et al., 2001). La película de partículas de caolín refleja las radiaciones ultravioleta, infrarroja y fotosintéticamente activas, por lo que reduce las temperaturas de las hojas y frutos tratados (Glenn, 2012). Por lo tanto, el caolín se ha utilizado para prevenir las quemaduras solares en frutas y hortalizas (Cantore et al., 2009; Glenn, 2009) y para ahorrar agua al reducir la transpiración en diversas especies, por ejemplo, clementinas (*Citrus × clementina*) y tomates (*Solanum lycopersicum*) (Boari et al., 2015; Cantore et al., 2009; Glenn y Puterka, 2005), y pomelo (*Citrus × paradisi*) (Jifon y Syvertsen, 2003; Shellie, 2015; Shellie y King, 2013).

Estudios previos han mostrado que la aplicación de caolín protege a las plantas contra el estrés por sequía (Glenn, 2012; Conibert et al., 2013). La eficacia del caolín para reducir la temperatura y mitigar el estrés ambiental también puede afectar los parámetros de calidad de la fruta (Aly et al., 2010; Glenn y Puterka, 2007; Shellie y King, 2013; Glenn et al., 2001, 2003; Shellie, 2015; Dinis et al., 2016). Varios estudios también han mostrado un aumento en el rendimiento de diferentes cultivos después de la aplicación de caolín, particularmente en condiciones de estrés hídrico (Lapointe et al., 2006; Sugar et al., 2005; Boari et al., 2014; Khaleghi et al., 2015; Glenn et al., 2003; Cantore et al., 2009).

Tomando en consideración todo lo expuesto, los objetivos de este estudio se enfocaron en investigar la influencia de una película de caolín y de tres niveles de tensión hídrica del suelo para la aplicación de los riegos sobre la temperatura de la hoja y el contenido relativo de clorofila (SPAD) en un cultivo de calabacita.

HIPÓTESIS

Para cualquier tensión de humedad del suelo para la aplicación de los riegos, las hojas de las plantas de calabacita con una película foliar de caolín tienen menor temperatura y mayor contenido de clorofila que las hojas de las plantas sin la película de caolín.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de una película foliar de caolín y tres niveles de tensión de la humedad del suelo sobre la temperatura de las hojas y el contenido relativo de clorofila en plantas de calabacita, híbrido Carola F1.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el efecto de tres tensiones de humedad del suelo para la aplicación de los riegos, en la temperatura foliar y el contenido relativo de clorofila.

Evaluar el efecto de la aplicación de una película foliar de caolín en la temperatura de las hojas y el contenido relativo de clorofila.

Analizar la interacción entre la tensión de humedad del suelo para la aplicación de los riegos con y sin una película foliar de caolín, en la temperatura foliar y el contenido relativo de clorofila.

REVISIÓN DE LITERATURA

Características del caolín

El caolín es un tipo de arcilla multifuncional ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) con bajo impacto ambiental (Cantore et al., 2009; Clark et al., 2020). Se trata de un producto de una alteración argílica avanzada, obtenida de zonas de condensación de vapor, donde los fluidos tienen un pH de 2 a 3 y alcanzan temperaturas de hasta 100 °C (Canet et al., 2022). Esta arcilla pertenece al grupo de las caolinitas (García et al., 2022) y puede utilizarse mezclada con agua, dejándola reposar durante 24 horas para su hidratación (Marín-Velázquez et al., 2020).

Aplicaciones del caolín en la agricultura

Diversas investigaciones, como la realizada por Herrera-Fajo y Vélez (2023), han reportado que el caolín se ha utilizado en cultivos de alto valor económico y nutricional —como la vid, los cítricos, el manzano y el tomate— para combatir con éxito plagas como la mosca mediterránea de la fruta y la polilla de la manzana; además, su uso reduce la aplicación de agrotóxicos en los cultivos. Pinto (2024) reportó que la aplicación foliar de caolín en plantas de vid cv Marselan reduce el grado de alcohol e incrementa la concentración de azúcar, mientras que en el cv Tempranillo no tuvo efecto en las variables mencionadas. Otros estudios han mostrado que la aplicación foliar de caolín en diferentes plantas reduce la temperatura de las hojas y de los frutos, así como el impacto del estrés hídrico (Boari et al., 2016; Costa et al., 2019).

Efecto del caolín en la temperatura foliar

Las aplicaciones foliares de caolín en plantas de vid lograron reducir la temperatura media de las hojas entre 0.5 y 2.5 °C, en comparación con aquellas a las que no se les aplicó caolín, bajo condiciones de mayor estrés hídrico (Ramírez-Cuesta et al., 2022). Otros estudios han demostrado que dichas aplicaciones pueden disminuir el estrés térmico en hojas y frutos. Investigaciones realizadas por Cantore et al. (2009) mostraron que la aplicación foliar de caolín

forma una película que protege a las plantas del ataque de diversas plagas, reduce el estrés térmico y mejora la tasa de fotosíntesis foliar. Esta película reflectiva reduce la absorción de radiación solar, pero es permeable al flujo de vapor de agua y dióxido de carbono, lo que resulta favorable para el crecimiento de las plantas (Dinis et al., 2016). Además, al ser una arcilla natural, su uso en la vid ha logrado contrarrestar la exposición a altas temperaturas y a la sequía (Brito et al., 2019), y reduce la pérdida de agua al disminuir la temperatura de los tejidos de hojas y frutos, actuando como una película o escudo protector (Khaleghi et al., 2015).

Efecto del caolín en el contenido de clorofila y la tasa de fotosíntesis

La tasa neta de fotosíntesis foliar fue mayor en las plantas de vid que recibieron aplicaciones de caolín en comparación con aquellas que no las recibieron (Ramírez-Cuesta et al., 2022). En un cultivo de mandarina, la aplicación de partículas de caolín fue efectiva para reducir el daño por quemaduras solares, funcionando como protector (Chabbal et al., 2014). El estudio de Brito et al. (2008) demostró que el caolín aumenta la reflexión de la radiación solar en las hojas, lo que reduce la radiación absorbida y el estrés térmico, a través de la regulación del ácido abscísico (ABA) —principal regulador de la tolerancia al estrés abiótico (Roychoudhury et al., 2013). Además, la producción endógena de ABA se estimula por diversas señales de estrés, otorgando a las plantas la capacidad de tolerar tensiones mediante el cierre de los estomas y alteraciones en la estructura radicular, que promueven el crecimiento de raíces laterales para contrarrestar los efectos del estrés abiótico, influyendo en diversas adaptaciones fisiológicas (Seki et al., 2002; Bharath et al., 2021). Asimismo, el ABA y su interacción con otras fitohormonas —como las giberelinas, la citoquinina, el etileno, el ácido salicílico y el ácido jasmónico— participan conjuntamente en la mitigación del estrés ambiental (Kumar et al., 2024). Actualmente, la aplicación de protectores solares a base de caolín se ha convertido en una estrategia para

reducir el impacto térmico de la radiación solar en cultivos de manzano y granada (Sharma et al., 2018).

Tensión de humedad del suelo, temperatura foliar, transpiración y fotosíntesis con la aplicación foliar de caolín

El recurso más importante para el desarrollo de las plantas es el agua, por lo que la reposición oportuna de la humedad del suelo y en el volumen adecuado, mediante la programación de los riegos, es fundamental para el rendimiento y la calidad de las cosechas (Wang et al., 2011). Pino et al. (2019) reportan que la temperatura foliar es un indicador de la conductancia estomática. Vatta et al. (2018) indican que, con el control adecuado de la tensión de humedad del suelo para la aplicación de riegos, se puede mejorar la eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes.

El mayor rendimiento en un cultivo de maíz se obtuvo al regar a bajas tensiones de humedad del suelo (10 kPa); al regar a tensiones mayores, aumenta la precocidad de las plantas (Núñez et al., 2020). Asimismo, el efecto del estrés hídrico en plantas de vid se puede reducir mediante la aplicación foliar de caolín a una dosis de 50 kg ha⁻¹ (Ramírez-Cuesta et al., 2022). El estudio de Glenn y Puterka (2005) mostró que la arcilla de caolinita aplicada en plantas actúa como activador fotosintético, al excluir la luz UV e infrarroja, lo que permite la transmisión efectiva de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y reduce la transpiración mediante la disminución de la temperatura foliar. La humedad del suelo es fundamental para el crecimiento de las plantas y esencial para el desarrollo y producción de cultivos (Guevara, 2018). Según Shok y Wang (2011), la medición de la tensión de humedad del suelo es de gran importancia, ya que es análoga a la fuerza de succión que las plantas deben ejercer para extraer el agua, lo cual indica el grado de estrés hídrico al que están expuestas.

El mayor rendimiento y eficiencia en el uso del agua en un cultivo de maíz se obtuvo al regar a una tensión de 20 kPa (Núñez et al., 2020). Con la aplicación foliar de una película de caolín en hojas de plantas de vid, se redujo la

temperatura de aquellas expuestas a alta radiación solar, lo que mejoró la tasa de fotosíntesis y redujo la transpiración (Dinis et al., 2016). Asimismo, en plantas de vid y de bayas, el estudio de Wünsche (2004) demostró que la aplicación foliar de caolín reduce la temperatura de las hojas, aumenta la capacidad fotosintética y protege los frutos de las quemaduras solares. Cuatro aplicaciones foliares de caolín en plantas de vid, realizadas a intervalos de dos semanas, redujeron la temperatura de la corteza, disminuyeron las manchas de sol en los frutos, mejoraron la calidad y aumentaron la tasa de fotosíntesis (Song et al., 2010).

Clasificación taxonómica de la calabacita

La calabacita (*Cucurbita pepo* L.) tiene la siguiente clasificación taxonómica:

REINO	Plantae
DIVISIÓN	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida
ORDEN	Violales
FAMILIA	Cucurbitaceae
GÉNERO	Cucurbita L., 1753
ESPECIE	pepo L., 1753
S UBESPECIE	pepo NA

(CONABIO, (S.F))

Importancia del cultivo

La calabacita, también conocida como calabacín o calabaza de verano, es originaria de Mesoamérica. En algunos países de América Latina se le conoce como “zapallito”. Este vegetal crece a lo largo del suelo, por lo que se le denomina “rastrera” y puede alcanzar hasta 10 metros de longitud. Es una planta monoica (con ambos sexos), pero con flores masculinas y femeninas debidamente separadas. La temperatura óptima para la germinación de la semilla oscila entre 22 y 25 °C. Las calabacitas presentan diferentes colores, tamaños y formas según la especie

a la que pertenezcan. La longitud de los frutos varía entre 12 y 15 centímetros. Crecen en climas cálidos y son intolerantes a las heladas. Los tallos, que están cubiertos de vellos, son erectos en las primeras etapas de desarrollo, hasta antes del tercer corte de frutos (SIAP, 2018).

Importancia económica y social del cultivo

El valor económico de la calabacita en México es de 3,444 millones de pesos (fuente). La disponibilidad de calabacita fresca en el país es constante durante todo el año, gracias a su explotación tanto en otoño-invierno como en primavera-verano. En México, el cultivo de calabacita tiene una importancia singular, tanto por el papel que representa en la gastronomía del país desde tiempos prehispánicos como por los servicios ecosistémicos que ofrecía al antiguo sistema de producción agrícola conocido como la milpa. Actualmente, en México, la calabacita se cultiva en 30 entidades federativas y se estima que el consumo per cápita anual es de 1.1 kg, mientras que el volumen generado representa el 3.4 % de la producción nacional de hortalizas (SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024). Los estados con mayor producción de calabacita (en miles de toneladas) son: Sonora, 144.78; Puebla, 76.235; Sinaloa, 66.92; Michoacán, 42.99; e Hidalgo, 35.69. En conjunto, estos estados concentran dos terceras partes de la producción anual. Asimismo, su cultivo en todo el país permitió generar un valor de 3,444 millones de pesos (SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

Estadísticas de rendimientos

En el año agrícola 2022, los productores dedicados a este cultivo destinaron 26 mil hectáreas para su producción. Del año 2013 al 2022, la producción promedio en México fue de 570 mil toneladas. Desafortunadamente, en 2022 la producción registrada fue de 552 mil toneladas, lo que indica que fue un 2.2 % menor que en el año anterior y un 3.2 % inferior al promedio de los últimos 10 años (SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

Países a los que se exporta

En cuanto a comercio exterior, los volúmenes exportados al mercado internacional permitieron al país obtener ingresos por 211 millones de pesos. El principal destino de la calabacita mexicana es EE. UU. (SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

Países productores de calabacita

La República Popular China es el mayor productor de calabaza del mundo, con una producción anual de 7,439,924.26 toneladas. India ocupa el segundo lugar, con 5,203,113.51 toneladas anuales. Con 1,314,540 toneladas de producción al año, Ucrania es el tercer mayor productor de calabaza. México, con 738,009.25 toneladas de producción anual, se clasifica en el octavo lugar.

País	Producción (toneladas)	Producción por persona (Kg)	Superficie (Hectárea)	Rendimiento (Kg / Hectárea)
 República Popular China	7,439,924.26	5.338	401,581	18,526.6
 India	5,203,113.51	3.893	541,941	9,600.9
 Ucrania	1,314,540	31.103	63,600	20,668.9
 Federación Rusa	1,174,579.9	7.997	56,739	20,701.5
 Estados Unidos de América	1,069,290	3.262	45,325	23,591.6
 España	789,780	16.927	16,590	47,605.8
 Turquía	771,651	9.549	100,853	7,651.2
 México	738,009.25	5.916	35,334	20,886.6
 Bangladesh	696,000	4.215	60,622	11,481
 Italia	601,660	9.955	19,950	30,158.4
 Indonesia	542,753.71	2.048	8,153	66,572.5
 Pakistán	466,121	2.309	29,913	15,582.6

(ATLAS BIG, 2025).

En el año agrícola 2022, los productores dedicados a este cultivo destinaron 26 mil hectáreas para su producción en México (SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

Valor nutricional

La calabacita contiene vitamina A, B2, C y E, beta-caroteno, flavonoides, aminoácidos y minerales, en especial potasio. Gracias a estos nutrientes se le

atribuyen propiedades antiinflamatorias, antivirales, analgésicas, antidiabéticas y antioxidantes.

La importancia nutricional de la calabacita radica principalmente en su alto contenido de agua y fibra, y en que es rica en vitaminas B6, C y K, riboflavina, ácido fólico, potasio y manganeso; además, ayuda en la digestión y previene enfermedades como las úlceras y el cáncer de colon (PROFECO, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El experimento se realizó en el área experimental del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con coordenadas geográficas de 25° 22' de latitud norte y 101° 22' de longitud oeste, a 1743 msnm. El clima es semifrío y semihúmedo, con una temperatura promedio de 14 a 18 °C y una precipitación media anual de 214 mm (INIFAP, 2015).

Características físico-químicas del suelo y del agua

Antes de la siembra se realizó el análisis de suelo y agua. Para el suelo, se determinaron las propiedades físicas (textura, densidad aparente y de partículas) y químicas en el estrato de 0 a 40 cm. Los análisis de suelo y agua se realizaron en el laboratorio RASPA del Departamento de Riego y Drenaje. La densidad aparente (ρ_b) se determinó por el método del cilindro, utilizando una barrena de corazones, mientras que la densidad de partículas (ρ_s) se obtuvo mediante el método de picnómetro. Con los datos de ρ_b y ρ_s se determinó la porosidad (η) del suelo del campo agrícola experimental.

$$\eta = 1 - \rho_b/\rho_s$$

Establecimiento y manejo del cultivo

El cultivo establecido fue calabacita (*Cucumis pepo* L.), híbrido Carola F1, con un ciclo de maduración de 60 días. La siembra se realizó de forma directa el 7 de mayo de 2023, colocando la semilla a una profundidad de 1 cm. La germinación se presentó 5 días después de la siembra. El cultivo se estableció a campo abierto, ocupando una superficie total de 460 m²; previo a la siembra se efectuó la preparación del terreno mediante un barbecho y dos pasos de rastra. Se establecieron 3 camas (1.20 m de ancho × 8 m de largo) para cada tratamiento,

utilizando acolchado plástico de color negro; la distancia entre plantas fue de 0.5 m y la separación entre camas de 1.20 m.

El riego se aplicó mediante cinta de 16 mm de diámetro, calibre 6 mil, con una separación de 20 cm entre emisores y un caudal del emisor de 1.3 LPH. La determinación del volumen de las camas de siembra (0.12 m³) permitió definir los tiempos de riego para los diferentes tratamientos de tensión de la humedad del suelo (ver Cuadro 1). La máxima capacidad de almacenamiento de agua del suelo en el área de estudio (40 % en volumen) se determinó con una sonda TDR (HydroSense II, Campbell Sci., Inc., Logan, Utah, USA), utilizando varillas de 20 cm de profundidad tras la aplicación de un riego intensivo (6 horas).

Cuadro 1. Tiempos de riego para los diferentes tratamientos de tensión hídrica del suelo.

Lectura del tensiómetro KPa	Tiempo de riego
20	1 hora con 15 minutos
35	1 hora con 45 minutos
50	2 horas con 15 minutos

El experimento se realizó con un diseño de bloques al azar, con arreglo en parcelas divididas. La parcela principal estuvo conformada por los niveles de iniciación del riego, tomando en cuenta las lecturas de un tensiómetro (marca Irrometer, Irrometer, Inc., Riverside, CA, USA) a 30 cm, colocado a 20 cm de profundidad (20, 35 y 45 kPa); la subparcela correspondió a la aplicación de caolín, con dos niveles (con y sin aplicación), para un total de seis tratamientos con cuatro repeticiones (véase Figura 1). La película de caolín (marca Surround) se aplicó disuelta en agua a una dosis del 5 %. La aplicación se realizó con una mochila aspersora 15 días después de la germinación; posteriormente, cada vez que se registraba una incidencia de lluvia se aplicaba nuevamente caolín para reponer la pérdida de la película por lavado. En total, se realizaron 10 aplicaciones durante el ciclo de crecimiento de las plantas.

La fertilización se llevó a cabo aplicando una solución nutritiva preparada para 1,000 L de agua (véase Cuadro 2) durante todo el ciclo del cultivo, formulada de acuerdo con el requerimiento nutricional del mismo y considerando los aportes del suelo y el agua. A los 15 días de la siembra, la solución nutritiva se aplicó diariamente; las aplicaciones posteriores se realizaron de forma semanal.

Cuadro 2. Solución nutritiva aplicado al cultivo de calabacita cv. Carola F1.

Fertilizante	ml por cama
Urea	25
MAP técnico	25
Sulfato de potasio	100
Nitrato de calcio	2.5
Sulfato de magnesio	20
Sulfato ferroso	50
Sulfato de cobre	8

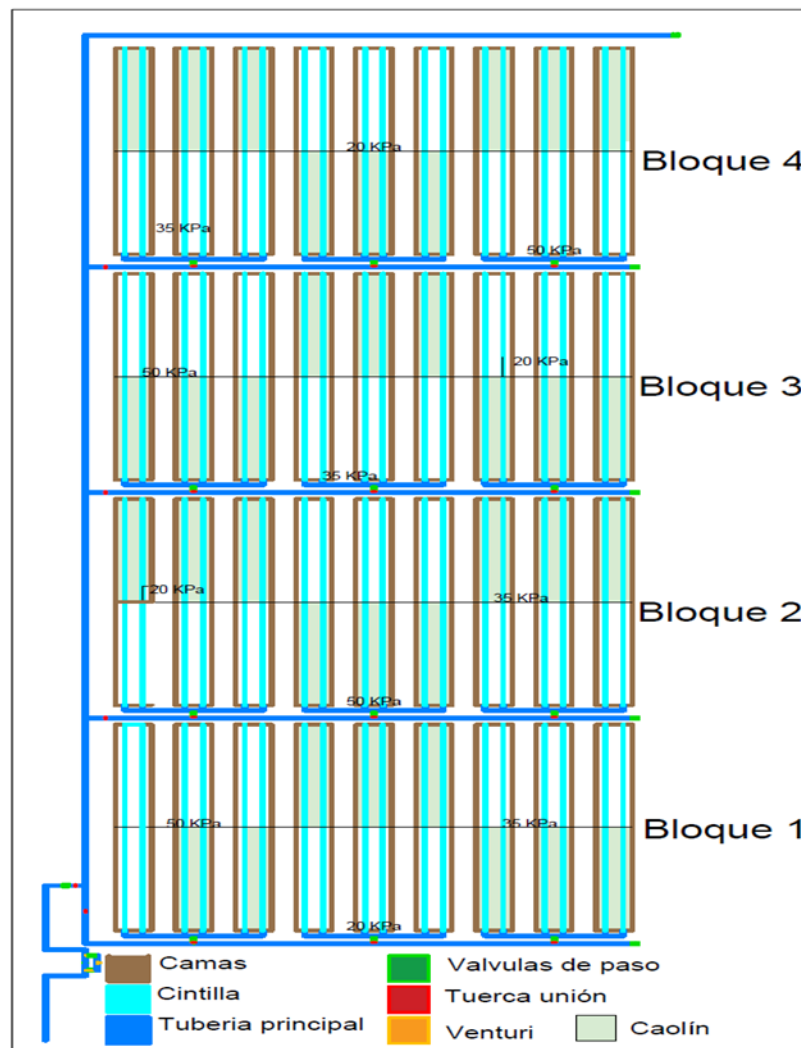


Figura 1. Vista en planta del área de estudio, con la distribución de los tratamientos en los diferentes bloques.

Temperatura de la hoja y Contenido relativo de clorofila (SPAD)

La dinámica diaria de la temperatura superficial de las hojas se midió utilizando termómetros infrarrojos, ubicados horizontalmente a aproximadamente 2 cm de distancia del centro de la hoja (con y sin caolín), y conectados a un datalogger para realizar mediciones a una frecuencia de un segundo, registrando promedios cada media hora. La temperatura al mediodía se midió con un termómetro infrarrojo portátil en cuatro plantas de cada uno de los seis tratamientos.

El contenido relativo de clorofila en las hojas (unidades SPAD) se determinó con un medidor portátil de clorofila (Konica Minolta Optics, SPAD-502 PLUS, Japón). Cada lectura resultó de la media de cuatro hojas por tratamiento, y en cada hoja se realizaron cinco mediciones.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el procedimiento Proc GLM (modelos lineales generales) de SAS (SAS Institute, Inc., Cary, N.C.) a un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. Se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias entre tratamientos para cada parámetro, aplicable al diseño de bloques al azar con parcelas divididas. La comparación múltiple de medias se realizó con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura de la hoja

Los tres niveles de tensión de humedad del suelo (20, 35, 50 kPa) antes de la aplicación del riego no afectaron la temperatura foliar (Figura 2, A) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Sin embargo, la temperatura promedio de las hojas en los tres niveles de tensión de humedad del suelo fue un 10.24 % mayor en las hojas sin la película foliar de caolín (Figura 2, A) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). La máxima diferencia en la temperatura foliar, de 3.17 °C, se observó en la tensión de 20 kPa (Figura 2, B) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), mientras que la menor diferencia, de 0.8 °C, se presentó en la tensión de 35 kPa (Figura 2, B). La temperatura de las hojas de las plantas del Tratamiento 1 (20 kPa con película de caolín) y del Tratamiento 5 (50 kPa con película de caolín) fue menor que la de las plantas del Tratamiento 2 (20 kPa sin película de caolín) (Figura 2, C) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Los resultados de este estudio indican que no existe una diferencia estadística significativa en la temperatura foliar promedio de las plantas en el rango de tensión de humedad del suelo de 20 a 50 kPa. Sin embargo, otros estudios muestran que la temperatura foliar es mayor en las plantas sometidas a estrés hídrico severo. Por ejemplo, en un cultivo de maíz en una zona árida, donde la temperatura del aire supera los 30 °C, la temperatura de las hojas fue 1.8 °C mayor en las plantas regadas al 60 % de la evapotranspiración de cultivo (ETc) en comparación con aquellas que se regaron al 100 % de la ETc (Zavala-Borrego et al., 2022).

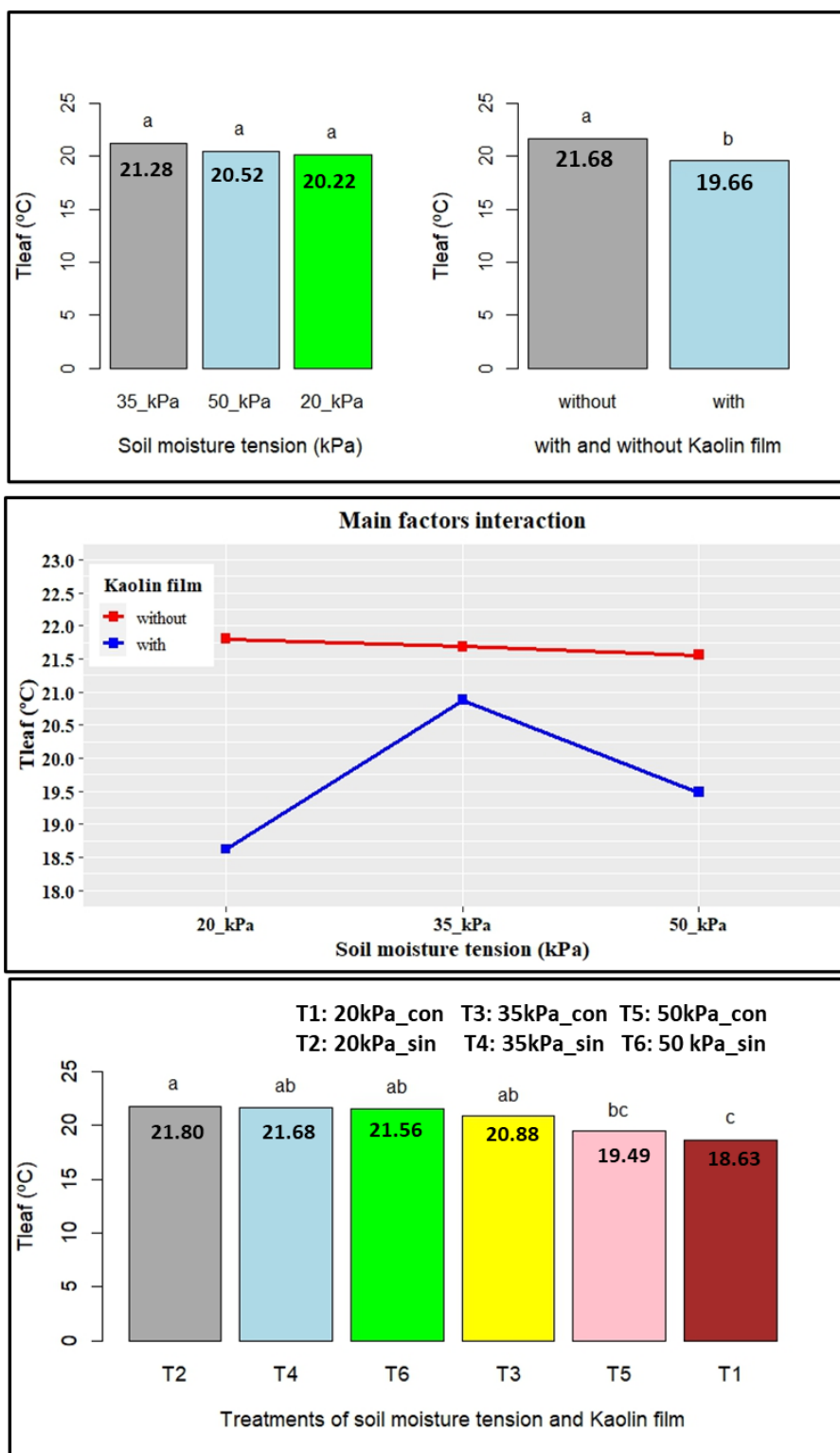


Figura 2. Efecto de la Tensión de humedad del suelo y película de partículas (Caolín) en la temperatura de las hojas de plantas de calabacín (cv Carola F1). A). Efecto de los factores principales B). Interacción de los factores principales y C).

Comparación de medias de los tratamientos.

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

En hojas de un cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.), Segura-Monroy et al. (2018) señalan que su temperatura se vio afectada de manera diferente por los niveles de riego y el uso de caolín. La temperatura de la hoja de uchuva aumentó aproximadamente 4.5 °C debido al estrés hídrico, mientras que los tratamientos con caolín provocaron una disminución de aproximadamente 1.4 °C. En plantaciones de pecan, Mahmoudian et al. (2020) encontró una temperatura foliar más alta (37.5 °C) atribuible al tratamiento testigo (sin caolín) bajo riego con déficit hídrico, mientras que la menor temperatura foliar (31.53 °C) se relacionó con el tratamiento de caolín al 7.5 % en régimen de riego completo.

Los resultados de este estudio muestran claramente que la temperatura de las hojas es menor cuando se aplica una película de caolín, debido al incremento en la reflectancia de la radiación solar incidente. Al absorber menos radiación, la temperatura de las hojas disminuye. El uso del caolín en la agricultura no es nuevo; de hecho, se ha empleado desde la década de 1930 para proteger los cultivos de las altas temperaturas, siendo su principal efecto el aumento de la reflexión de la radiación solar.

En general, la aplicación de caolín redujo la temperatura de la hoja bajo los diferentes niveles de riego (Figura 2, C). Al reflejar la luz del sol desde la superficie de la hoja, el caolín reduce tanto la temperatura como la cantidad de agua que se evapora de la hoja y de la fruta, sin afectar el intercambio gaseoso de la hoja (Jifon y Syvertsen, 2003). Estudios previos en árboles de nogal pecero han mostrado que la aplicación de caolín reduce la temperatura foliar y aumenta la tasa de fotosíntesis y el intercambio de gases estomáticos (Gharaghani et al., 2018), resultados similares a los observados en nuestro estudio.

En la Figura 3 se muestra la dinámica de la variación diaria de la temperatura de las hojas (mediciones cada segundo y promedios cada 30 minutos) de plantas

de calabacita (cv. Carola F1) con y sin caolín, durante el período comprendido entre el 21 y el 25 de junio de 2023. Las fluctuaciones en la temperatura de las hojas se debieron a los cambios en las condiciones climáticas y a la hora del día. Durante las horas de máxima incidencia de radiación solar (de 12:00 a 17:00 h), la temperatura de las hojas con caolín fue menor que la de las hojas sin caolín (Figura 3). La diferencia fue mayor en días de cielo despejado y con menor velocidad del viento, y menor en días nublados y con mayor velocidad del viento. El 23 de junio de 2023, alrededor de las 12:00 h (Figura 3), se encontró una diferencia de hasta 17 °C. Durante la noche, la diferencia de temperatura entre las hojas con y sin caolín fue menor. Se observaron patrones similares en otras fechas a lo largo del ciclo de cultivo (febrero-julio), donde, a las horas de mayor incidencia de radiación, la temperatura de las hojas con la película de caolín siempre fue menor que la de las hojas sin caolín.

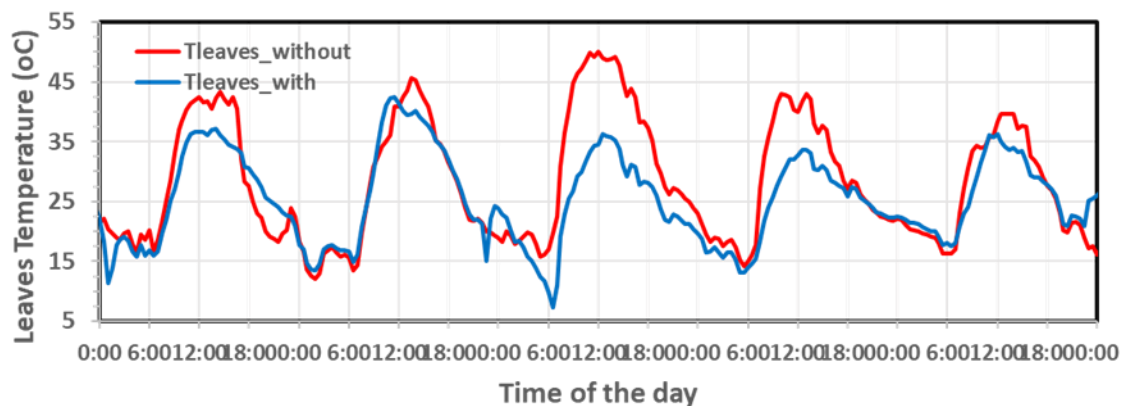


Figura 3. Temperatura de las hojas del cultivo Calabacín (híbrido Carola F1) con y sin película de caolín a lo largo del día (promedios de 30 min de mediciones de 1 s) del 21 al 25 de junio de 2023.

El estrés por calor es la principal causa de la reducción del rendimiento de cultivos y de la calidad de la fruta (Sato et al., 2001; Dumas et al., 2003). Los resultados de este y estudios previos indican que el estrés térmico de las plantas puede mitigarse mediante la aplicación de una película de caolín desde el inicio de la etapa vegetativa.

Estudios realizados en manzano, granada, nuez, almendra, toronja, pera y cítricos muestran que la aplicación foliar de una película de caolín reduce la temperatura de las hojas entre 1 y 6 °C (Glenn et al., 2003; Jifon y Syvertsen, 2003; Melgarejo et al., 2004; Wünsche et al., 2004; Lombardini et al., 2005; Rosati et al., 2006; Miranda et al., 2007). En hojas de plantas de té verde (*Camellia sinensis*), la diferencia de temperatura con y sin la película de caolín fue de 2 a 4 °C (Anandacoomaraswamy et al., 2000). En otro estudio, Russo y Díaz-Pérez (2005) encontraron que la aplicación de caolín no afectó la temperatura de las hojas de las plantas de pimienta (*Capsicum annuum*).

Contenido Relativo de Clorofila

Los tres niveles de tensión de la humedad del suelo no afectaron el contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) de las hojas (Figura 4, A) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$); sin embargo, el contenido relativo de clorofila de las hojas con la película de caolín fue un 17.96 % mayor que en las hojas sin caolín (Figura 4, A) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Para los tres niveles de tensión de la humedad del suelo, el contenido relativo de clorofila fue mayor en las plantas con caolín, y la diferencia entre ambas en cada tensión fue aproximadamente igual (Figura 4, B).

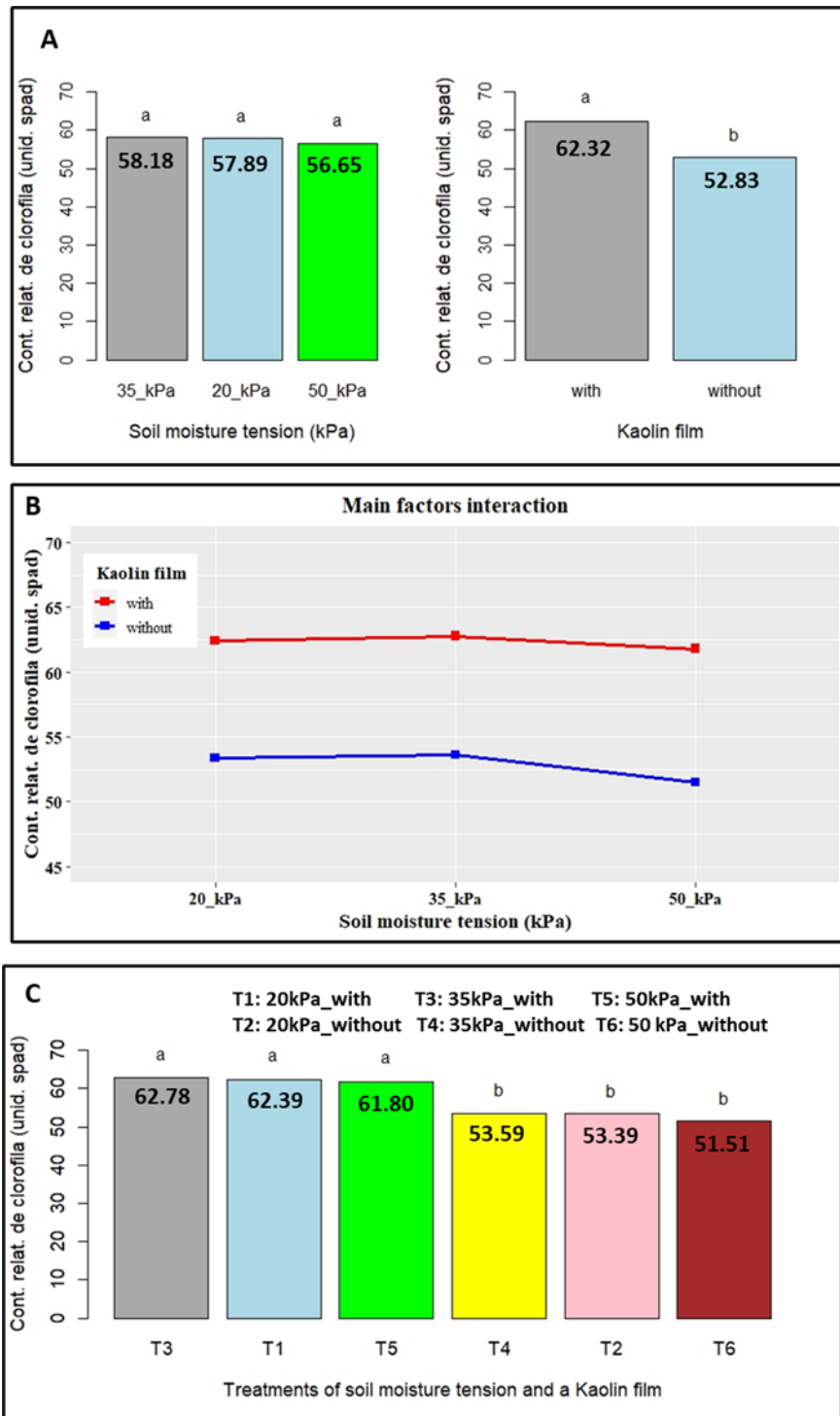


Figura 4. Tensión de humedad del suelo y películas de partículas (Caolín) en el contenido relativo de clorofila de hojas de plantas de calabacín (cv Carola F1). A). Efecto de los factores principales B). interacción de los factores principales y C).

Comparación de medias de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

El contenido relativo de clorofila de las hojas de las plantas en los tres niveles de tensión de humedad del suelo (20, 35 y 50 kPa) con la película de caolín (T1, T3 y T5) fue estadísticamente igual, pero mayor al de las plantas sin la película de caolín en los tres niveles de tensión (T2, T4 y T6) (Figura 4, C) (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Estudios previos reportan que las hojas de las plantas sometidas a tratamientos de riego con mayor estrés tienen menor contenido de nitrógeno y clorofila respecto a aquellas sin estrés (Ghanbari et al., 2013; Singh y Usha, 2003). El estrés por sequía inhibe la síntesis de clorofila en diversas etapas metabólicas, desde la formación de ácido 5-aminolevulínico hasta la síntesis de clorofilas a y b, así como su incorporación en el desarrollo de complejos pigmento-proteína del aparato fotosintético. Sin embargo, se ha demostrado que, en varias especies de plantas, los carotenoides son menos sensibles al estrés por sequía que la clorofila (Semida et al., 2023). De manera similar a los resultados de este trabajo, Lisar et al. (2012) y Segura-Monroy et al. (2018) reportaron que la aplicación foliar de una película de caolín en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) aumentó el contenido de clorofila en las hojas. Asimismo, Retana-Cordero et al. (2022) informaron que, en plantas de jengibre y cúrcuma tratadas con caolín, se registraron valores del índice SPAD un 32 % y un 38 % más altos, respectivamente, que en las plantas control. Otros investigadores han informado resultados similares en nueces (*Juglans regia*) y fenogreco (*Trigonella foenum-graecum*) (Gharaghani et al., 2018; El-Shayeb et al., 2020). Es ampliamente reconocido que el estrés por radiación puede dañar los pigmentos fotosintéticos de las plantas, como la clorofila y los carotenoides, causando clorosis en las hojas (Faghih et al., 2019). Los valores más altos del índice SPAD medidos en plantas tratadas con caolín en comparación con el control parecen deberse a que los aerosoles de caolín ayudan a proteger las hojas del estrés por radiación solar e inhiben la degradación de la molécula de clorofila.

CONCLUSIONES

Para cualquier nivel de tensión de la humedad del suelo (20, 35 y 50 kPa), la aplicación de una película foliar de caolín en las plantas de calabacita, híbrido Carola F1, disminuyó la temperatura de la hoja e incrementó las unidades SPAD. La máxima diferencia en la temperatura foliar con y sin la película de caolín (3.17 °C) se presentó en la tensión de 20 kPa, mientras que la menor (0.8 °C) se observó en la tensión de 35 kPa. Durante las horas de máxima radiación solar se registró una diferencia de hasta 17 °C, y durante la noche, la diferencia de temperatura entre las hojas con y sin caolín fue menor. Además, los tres niveles de tensión de la humedad del suelo, medidos antes de la aplicación del riego, no afectaron el contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) de las hojas; sin embargo, el contenido relativo de clorofila de las hojas con la película de caolín fue un 17.96 % mayor que en las hojas sin caolín.

BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Mageed, T.A., Semida, W.M., Mohamed, G.F., & Rady, M.M.(2016). Combined effect of foliar-applied salicylic acid and deficit irrigation on physiological-anatomical responses, and yield of squash plants under saline soil,. South African J. Bot., vol. 106: 8–16.
- AbdAllah, A. (2017). Impacts of Kaolin and Pinoline foliar application on growth, yield and Water Use efficiency of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under water deficit: a comparative study, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 18: 256–268.
- Abdel-Fattah, G.H., (2013). Response of water stressed rose of China (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) plant to treatment with calcium carbonate and vapor gard antitranspirants. J. Appl. Sci. Res., 9(6), 3566-3572.
- Aguilar-Carpio, C., Cervantes-Adame, Y. F., Sorza-Aguilar, P. J. y Escalante-Estrada, A. S. E. (2022). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) fertilizada con fuentes químicas y biológicas. Terra Latinoamericana, 40, 1-12. e1059.
- Aly, M., El-Megeed, N.A., Awad, R.M., 2010. Reflective particle films affect on sunburn, yield, mineral composition and fruit maturity of ‘Anna’ apple (*Malus domestica*) trees. Res. J.Agric. Biol. Sci. 6, 84-92.
- Anjum, S. A., Wang, L., Farooq, M., Xue L., Ali, S.(2011). Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions. J Agron & Crop Sci. 197(6): 409-417.
- ATLAS BIG. (24 de Marzo de 2025). ATLAS BIG. Obtenido de ATLAS BIG: <https://mx.atlasbig.com/paises-por-produccion-de-calabaza>
- Bharath, P., Gahir, S., Raghavendra, A.S. (2021). Absciscic acid-induced stomatal closure: an important component of plant defense against abiotic and biotic stress. Front. Plant Sci. 12, 615114.

- Boari F., Donadio, A., Pace, B., & Inmaculata, M. (2016) Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. *Agricultural Water Management* 167(Suppl. 3):29-37
- Boari, F., Donadio, A., Pace, B., Schiattone, M. I. & Cantore, V. (2016). Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. *Agricultural Water Management* 167, 29-37.
- Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M.I., Cantore, V. (2015). Particle film technology: A supplemental tool to save water. *Agric Water Manag.* 147, 154-162.
- Bodner, G., Nakhforoosh, A., Kaul, H.P.(2015). Management of crop water under drought: a review.*Agron Sustain Dev.* 35, 401-442.
- Brillante, L., Belfiore, N ., Gaiotti F., Lovat, L., Sansone, L., Poni S., et al., 2016. Comparing Kaolin and Pinolene to Improve Sustainable Grapevine Production during Drought .*PLoS ONE* 11(6):e0156631.
- Brito, C., Dinis, LT., Ferreira, H., Rocha, L., Pavía, I., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. M. (2008). Kaolin particle film modulates morphological, physiological, and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. *Plant Physiology Biochemistry*, 133, 29-39.
- Brito, C.,Dinis, LT., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. (2019). Kaolin: An emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. *Scientia Horticulturae*, 250, 310-316.
- Canet, C., Sara I., Morelos-Rodríguez, L., Rajabi, A., & Núñez-Useche, F. (2021) Apunte geológico y revisión histórica de la zona geotérmica de Pathé, Hidalgo. *Geofísica internacional*, 60(3), 258-279.
- Cantore, V., Pace, B., & Albrizio, R. (2009). Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. *Environmental and Experimental Botany*, 66(2), 279–288.

- Chabbal, MD, Piccoli AB, Martínez GC, Avanza MM, Mazza SM, Rodríguez, V A. (2014) Aplicaciones de caolín para el control del golpe de sol en mandarino 'okitsu'. Cultivos Tropicales. Scielo; 35(1): 50-56.
- Chabbal, MD., Piccoli, AB., Martínez, GC., Avanza, MM., Mazza, SM. & Rodríguez, VA. (2014). Aplicaciones de caolín para el control del golpe de sol en mandarino 'okitsu'. Cultivos Tropicales, vol. 35, núm. 1. pp. 50-56.
- Clark R.N., Swayze G.A., Wise R.A., Livo K.E., Hoefen T.M., Kokaly R.F. & Sutley S.J., (2007). USGS Digital Spectral Library splib06a, USGS Digital Data Series, 231.
- CONABIO. ((S.F)). Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM). Obtenido de Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM):
http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseseguridad/pdf/20870_sg7.pdf
- Coniberti, A., Ferrari, V., Dellacassa, E., Boido, E., Carrau, F., Gepp, V., et al., (2013). Kaolin over sunexposed fruit affects berry temperature, must composition and wine sensory attributes of Sauvignon blanc. Eur J Agron.; 50, 75–81.
- Dinis, L.T., Bernardo, S., Conde, A., Pimentel, D., Ferreira, H., Félix L., et al., (2016). Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. J Plant Physiol. 191, 45-53.
- Dinis, LT., Bernardo, S., Conde, A., Pimentel, D., Ferreira, H., Félix, L., & Moutinho-Pereira, J. (2016). Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. Journal of Plant Physiology, 191, 45–53.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.005>
- El-Shayeb, N.S., Hassan, R.H., Ahmed, M.A., Abdelkader, M.A. (2020)
 Evaluation of growth, yield and active ingredients in fenugreek plants

- under different potassium fertilizer rates and kaolin application. *Eur. J. Med. Plants.* 31: 28–37.
- Faghih, S.; Zamani, Z.; Fatahi, R.; Liaghat, A.(2019). Effects of deficit irrigation and kaolin application on vegetative growth and fruit traits of two early ripening apple cultivars. *Biol. Res.* 2019, 52, 43.
- Faralli, M., Ivan, G.G., Martin, C.H., Roger, D.B., Kevin S.W., Fiona, M.K.C., Peter, S.K., 2016.Canopy application of film antitranspirants over the reproductive phase enhances yield and yield-related physiological traits of water-stressed oilseed rape (*Brassica napus*). *Crop and Pasture Science.* 67(7), 751-765.
- García, AV., Sánchez, JJ., Torio, E., Germán, E., & Rodríguez, Al. (2022). Caracterización de minerales de alteración en domos y depósitos piroclásticos del Área Geotérmica de Paipa, Colombia. *Boletín de Geología*, 44(3), 219-233.
- Ghanbari, A.A., Mousa, S.H.V.I., Mousapour-Gori, A., Rao, I. (2013). Effects of water stress on leaves and seeds of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish J. F. Crop.*, vol. 18, no. 1, pp. 73–77, 2013.
- Gharaghani, A., Javarzari, A.M., Vahdati, K. (2018). Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in persian walnut. *Sci. Hortic.* 239, 35–40.
- Glenn, D.M. (2016). Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple productivity and quality. *Scientia Horticulturae.* 201,101-108.
- Glenn, D.M., 2012. The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. *HortScience.* 47, 710-711.
- Glenn, D.M., Cooley, N., Walker, R., Clingeleffer, P., Shellie, K. (2010). Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. *Hortscience.* 45,1178-1187.

- Glenn, D.M., Puterka, G.J. (2007). The use of plastic films and sprayable reflective particle films to increase light penetration in apple canopies and improve apple color and weight. *HortScience*.42, 91-96.
- Glenn, D.M., Puterka, G.J., Drake, S.R., Unruh, T.R., Knight, A.L., Baherie, P., et al., (2001). Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. *J Am Soc Hortic Sci*. 126, 175-181.
- Glenn, D.M., Puterka, G. J. (2005). Particle films: a new technology for agriculture. *Hortic Rev*. 31, 1-44.
- Glenn, DM. & Puterka GJ. (2005) Particle films: a new technology for agriculture. *Horticultural reviews*, 31(1).
- Guevara, L. (2018). Evaluación de la humedad del suelo por medio de la sonda de reflectometría magnética (FDR) en el cultivo de banano. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13259>
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., & Barzegar, M. (2015). The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv. 'Zard' grown under warm and semi-arid region of Iran. *Food Chemistry*, 166, 35-41.
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., Barzegar, M. (2015). The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv 'Zard' grown under warm and semi-arid region of Iran. *Food Chem*. 166, 35-41.
- Kumar, Rai Gyanendra., Danish Mushtaq Khanday., Sadiya M. Choudhary., Pradeep Kumar., Shanti Kumari., Cristina Martínez-Andújar., Purificación A. Martínez-Melgarejo., Pradeep K. Rai., Francisco Pérez-Alfocea. (2024). Unlocking nature's stress buster: Absciscic acid's crucial role in defending plants against abiotic stress. *Plant Stress*, volume 11, SN 2667-064X. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100359>.

- Lisar, S.Y.S., Motafakkerazad, R., Hossain, M.M., and Rahman, I. M. M.(2012). "Water Stress in Plants : Causes , Effects and Responses," in Water stress in plants, INTECH Open Access Publisher. 1–14.
- Mahmoudian M., Rahemi M., Karimi S., Yazdani N., Tajdini Z., Sarikhani S., Vahdati K. (2021). Role of kaolin on drought tolerance and nut quality of Persian walnut Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 20 (6): 409-416.
- Marín-Velásquez, TD. & Arriojas-Tocuyo, DD. (2020). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (*Cocos nucífera*) a nivel de laboratorio. *Revista ION*, 33(2), 99-110.
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Rosselló, J., et al., (2015). From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. *Crop J.* 3: 220-228.
- Mikiciuk, G., Mikiciuk, M., Ptak, P. (2015). The Effects Of Anitranspirant Di-1-Menthenephysiological Traits Of Strawberry Journal of Ecological Engineering. Volume 16(4): 161-167.
- Núñez-Ramírez, F., Escobosa-García, I., Cárdenas-Salazar, V., Santillano-Cázares, J., Ruelas-Islas, JR., Preciado-Rangel, P., & Díaz-Ramírez, J. (2020). Tensión de humedad del suelo, crecimiento, eficiencia en el uso del agua y rendimiento de maíz cultivado en el noroeste de México. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 805-815. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.763>
- Pino V., Edwin, Montalván D., Isaac, Vera M., Alissa, & Ramos F, Lia. (2019). Stomatal conductance and its relationship with leaf temperature and soil moisture in olive cultivation (*Olea europaea* L.), in the period of fruit ripening, in arid zones. *La Yarada, Tacna, Perú. Idesia (Arica)*, 37(4), 55-64. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000400055>

Pinto, CR. (2024). Efectos del caolín sobre la calidad de vinos obtenidos de las variedades tempranillo y marselan. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/207180>

PROFECO. (28 de Febrero de 2021). Procuraduría Federal del Consumidor.

Obtenido de Procuraduría Federal del Consumidor:

<https://www.gob.mx/profeco/articulos/consume-calabacita-esta-temporada?idiom=es#:~:text=Rica%20en%20nutrientes%20y%20parte%20fundamental%20de%20la%20cocina%20mexicana&text=Su%20nombre%20cient%C3%ADfico%20es%20Cuc%C3%BArbita%20pepo%20L.&text=Contiene%20lut>

Ramírez-Cuesta J. M., F. Sanz-Caballer, A., Yeves-Carrascosa, D., Guerra, DC., G. Piccinni, & Marti, DS. (2022). Protección solar de las vides con la aplicación foliar de caolín. Efectos fisiológicos y sobre la composición de la uva. Acta de Horticultura: Comunicaciones Técnicas Sociedad Española de Ciencias Hortícolas: ISBN 978-84-09-38456-3, págs. 139-143.

Ramírez-Cuesta, JM., Sanz-Caballer, F., Yeves-Carrascosa, D. Guerra, D., Cale, G., Piccinni, J., Marti, DS. (2022) Protección solar de las vides con la aplicación foliar de caolín. Efectos fisiológicos y sobre la composición de la uva. Acta Horticultura No. 91. págs. 139-143

Retana-Cordero, M., Flores, S., Freyre, R., Gómez, C. (2022). Strategies to Reduce Radiation Stress in Open-Field Ginger and Turmeric Production. Agronomy .12(1910): 1-14.

Robinson J., & Vélez-Ruiz, MC. (2023). Caolín en el Control de Plagas Agrícolas: Un Estudio Bibliométrico Global de Tendencias, Colaboraciones y Aplicaciones en la Agricultura Sostenible. Código Científico Revista De Investigación, 4(2), 88–114. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/n2/233>

Roychoudhury, A., Paul, S., Basu, S. (2013). Cross-talk between abscisic acid-dependent and abscisic acid-independent pathways during abiotic stress. Plant Cell Rep. 32, 985–1006.

- Segura-Monroy, S., Uribe-Vallejo, A., Ramírez-Godoy, A., & Restrepo-Díaz, H. (2015). Effect of Kaolin Application on Growth, Water Use Efficiency, and Leaf Epidermis Characteristics of *Physalis peruviana* Seedlings under Two Irrigation Regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 17: 1585-1596.
- Seki, M., Ishida, J., Narusaka, M., Fujita, M., Nanjo, T., Umezawa, T., Kamiya, A., Nakajima, M., Enju, A., Sakurai, T., Satou, M., Akiyama, K., YamaguchiShinozaki, K., Carninci, P., Kawai, J., Hayashizaki, Y., Shinozaki, K. (2002). Monitoring the expression pattern of around 7, 000 *Arabidopsis* genes under ABA treatments using a full-length cDNA microarray. *Funct. Integr. Genom.* 2 (6), 282-291.
- Semida, W., Emara, A., Ghoneim, I. y Barakat, M. (2023). Aplicación foliar de caolín Funciones fisiológicas mejoradas y calidad de las vainas de (*phaseolus vulgaris* L.) bajo regímenes de riego deficitario. *Laberinto: Revista de ciencia y estudios interdisciplinarios de Fayoum* , 1 (1), 84-94.
- SIAP. (17 de abril de 2018). Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera: <https://www.gob.mx/siap/articulos/calabacita-hortaliza-versatil-con-la-que-se-pueden-elaborar-diversos-platillos?idiom=es>
- SIAP. (4 de Abril de 2024). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: <https://www.gob.mx/siap/articulos/calabacitas-tiernas-para-el-tradicional-platillo-a-la-mexicana?idiom=es#:~:text=En%20nuestro%20pa%C3%ADs%20el%20cultivo%20de%20calabacita%20tiene,al%20antiguo%20sistema%20de%20producci%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20llamada%20>
- Sharma, RR., Datta, SC., & Varghese, E. (2018). Effect of Surround WP®, a kaolinbased particle film, on sunburn, fruit cracking, and postharvest quality of ‘Kandhari’ pomegranates. *Crop Protection*, 114, 18-22. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.009>

- Shellie, K. (2015). Foliar reflective film and water deficit increase anthocyanin to soluble solids ratio during berry ripening in Merlot. *Am J Enol Vitic.* 66:348-356.
- Shellie, K.C., Glenn D.M. (2008). Wine grape response to foliar particle film under differing levels of preverais on water stress. *HortScience.* 43: 1392-1397.
- Shellie, K.C., King B.A. (2013a). Kaolin particle film and water deficit influence red wine grape color under high solar radiation in an arid climate. *Am J Enol Vitic.* 64: 214-222.
- Shellie, K.C., King, B.A. (2013 b). Kaolin-based foliar reflectant and water deficit influence Malbec leaf and berry temperature, pigments, and photosynthesis. *Am. J. Enol. Vitec.* 64: 223-230.
- Singh, B., & Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regul.* 39(1993): 137–141.
- Song, Y., Park, MY., Yang, SJ., Nam, JC. & Sagong, DH. (2010). Effect of microspraying of water and coating by white materials on fruit sunburn occurrence for 'Fuji'/M.9 apple trees. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 12, no. 2, p. 76-82.
- Vatta, K., Sidhu, RS., Lall, U., Birthal, PS., Taneja, G., Kaur, B., Devineni, N. & MacAlister, C. (2018). Assessing the economic impact of a low-cost water-saving irrigation technology in Indian Punjab: the tensiometer. *Water Int.* 43: 305-321.
- Wünsche, J.N., L. Lombardini & Greer, DH. (2004). 'Surround' Particle Film Applications - Effects on Whole Canopy Physiology of Apple. *Acta Hort.* 636, 565 – 571.
- Zavala-Borrego, Felipe, Reyes-González, Arturo, Álvarez-Reyna, Vicente de Paul, Cano-Ríos, Pedro, & Rodríguez-Moreno, Víctor Manuel. (2022). Efecto de la tasa de evapotranspiración en área foliar, potencial hídrico y

rendimiento de maíz forrajero. Revista mexicana de ciencias agrícolas,
13(3): 407-420.