

## **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**

**Alejandro Zermeño-González<sup>1</sup>; Adolfo Ismael Martínez Sandoval<sup>1</sup>; José Alexander Gil-Marín<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Riego y Drenaje. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México CP. 25315.

Jalexgil2022@hotmail.com - Teléfono 844-590-1566 (\*Autor de correspondencia)

---

### **Resumen**

Bajo la hipótesis de que la aplicación foliar de una película de caolín disminuye la temperatura foliar de la hoja y mejora las condiciones fotosintéticas de un cultivo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de una película de caolín y tres niveles de tensión de la humedad del suelo (20, 35 y 50 KPa) en la temperatura foliar y contenido relativo de clorofila de un cultivo de calabacita (*Cucumis pepo* L.), híbrido Carola F1, durante el ciclo de verano 2023. El experimento se llevó a cabo en el área experimental del Departamento de Riego y Drenaje, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela principal lo constituyeron los niveles de iniciación del riego, tomando en cuenta las lecturas de un tensiómetro colocado a 30 cm de profundidad (20, 35 y 45 KPa). La subparcela estuvo representada por la aplicación de Caolín, con dos niveles, con y sin aplicación. En total fueron 6 tratamientos producto de los 3 niveles de la parcela principal y los dos de la aplicación de Caolín con 4 repeticiones. 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 F, disminuyó la temperatura de la hoja e incremento las unidades SPAD.

**Palabras claves:** *protector solar, película de arcilla, SPAD, tensiómetros.*

## Introducción

Las recientes tendencias de calentamiento y los patrones climáticos erráticos en la producción agrícola han evocado la necesidad de prácticas culturales adaptativas que mejoren las influencias nocivas del clima (Shellie, 2015). Optimizar la eficiencia en el uso del agua (EUA), particularmente en regiones áridas y semiáridas es un dónde el agua es el principal factor limitante para el crecimiento de las plantas (Brillante *et al.*, 2016; Bodner *et al.*, 2015; Medrano *et al.*, 2015). Se pueden lograr ahorros para aumentar la eficiencia en el uso del agua mediante una gestión cuidadosa. Las plantas son pródigas en el uso del agua, especialmente en las regiones áridas y semiáridas, porque solo aproximadamente el 5 % del consumo de agua se utiliza para su crecimiento y desarrollo, mientras que el 95 % restante se pierde transpiración (AbdAllah, 2017). Por lo tanto, el potencial de reducción del consumo de agua de la planta a través de 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 demostraron que los antitranspirantes son útiles para regular el estado hídrico de las plantas y superar las efecto nocivo del estrés hídrico y/o estrés por calor, preservando el crecimiento y el rendimiento de las plantas ( Abdel-Fattah, 2013; Mikiciuk *et al.*, 2015). De hecho, los usos de los antitranspirantes mostraron 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).

Los antitranspirantes de acuerdo con su función de acción se clasificaron en: 1. Materiales metabólicos que son compuestos químicos que evitan que los estomas se abran por completo, disminuyendo así la pérdida de vapor de agua de las hojas de las plantas (Anjum *et al.*, 2011). 2 Materiales formadores de películas, que son emulsiones de cera, látex o plásticos que se secan sobre el follaje y forman películas transparentes que impiden la salida del vapor de agua de las hojas (Faralli *et al.*, 2016). Y (3) Materiales reflectantes que reducen la absorción de la energía radiante y, por lo tanto, reducen la temperatura de la hoja y la tasa de transpiración (Glenn *et al.*, 2003). 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, reflectante; es una arcilla de ingeniería (un filosilicato de aluminio,  $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$ ). Cuando se rocía cubre hojas y frutos con finas películas de nanopartículas (Boari *et al.*, 2015; Glenn y Puterka, 2005; Brillante *et al.*, 2016). Someter el caolín a un proceso de calentamiento convierte el silicato en color blanco y aumenta sus propiedades de reflectancia a la luz (Glenn *et al.* 2001). La película de partículas de caolín refleja las radiaciones ultravioleta e infrarroja 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 las frutas y hortalizas (Cantore *et al.*, 2009; Glenn, 2009); y ahorrar agua al reducir la transpiración en varias especies, por ejemplo: clementinas (*Citrus x clementina*) y tomates (*Solanum lycopersicum*) (Boari *et al.*, 2015; Cantore *et al.*, 2009; Glenn y Puterka 2005), pomelo ( *Citrus x paradisi* ) (Jifon y Syvertsen, 2003; Shellie, 2015;

Shellie y King, 2013). Otros investigadores señalan 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 mostraron 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 a investigar la influencia de una película de caolín y tres niveles de tensión hídrica del suelo sobre la temperatura de la hoja y contenido relativo de clorofila (SPAD) de un cultivo de calabacita.

## 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 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, precipitación media anual de 214 mm (INIFAP, 2015).

### Características físico-químicas del suelo y agua

Antes de la siembra se realizó el análisis de suelo y agua, para suelo se determinaron las propiedades físicas (textura, densidad aparente y de partículas) y químicas en el estrato de 0 – 40 cm, los análisis de suelo y agua se realizaron en el laboratorio de RASPA del Departamento de Riego y Drenaje. La densidad aparente ( $\rho_b$ ) se determinó por el método del cilindro, utilizando una barrena de corazones, mientras que la densidad de partículas ( $\rho_s$ ) se obtuvo con el método de picnómetro. Con los datos de ( $\rho_b$ ) y ( $\rho_s$ ) se determinó la porosidad ( $\eta$ ), en porcentaje con la expresión:

$$\eta(\%) = \left( \frac{\rho_b}{\rho_s} \right) \times 100 \quad (1)$$

### 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 día 7 de mayo del 2023, colocando la semilla a una profundidad de 1 cm. La germinación fue 5 días después de la siembra. El cultivo se estableció a campo abierto, ocupando una superficie total de 460 m<sup>2</sup>, previo a la siembra se efectuó la preparación del terreno con un barbecho y dos pasos de rastra. Se establecieron 3 camas (1.20 m de ancho x 8 m de largo) para cada tratamiento, con acolchado plástico de color negro, la distancia entre plantas fue de 0.5 m y 1.20 m entre camas.

El riego se aplicó con cinta de 16 mm de diámetro calibre 6 mil, una separación entre emisores de 20 cm y gasto del emisor de 1.3 LPH. La determinación del volumen de las camas (0.12 m<sup>3</sup>) de siembra permitió determinar los tiempos de riego para los diferentes tratamientos de tensión de la humedad del suelo (Cuadro 1). La máxima capacidad de almacenamiento de agua del suelo del área de estudio (40 % con base a volumen) se determinó con una sonda TDR (HydroSense II, Campbell Sci., Inc., Logan, Utah, USA) con varillas de 20 cm de profundidad después de la aplicación de un riego pesado (6 horas)

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

<b>Lectura del tensiómetro</b> <b>KPa</b>	<b>Tiempo de riego</b>
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, donde la parcela principal lo constituyeron los niveles de iniciación del riego, tomando en cuenta las lecturas de un tensiómetro (marca Irrrometer, Irrrometer, Inc, Riverside, CA, USA) de 30 cm, colocado a 20 cm de profundidad (20, 35 y 45 Kpa) y la subparcela la aplicación de Caolín, con dos niveles (con y sin aplicación), para seis tratamientos con cuatro repeticiones (Figura 1). La película de caolín (Marca Surround) se aplicó disuelta en agua a una dosis de 5 %, la aplicación se realizó con una mochila aspersora a los 15 días después de la germinación, después de cada incidencia de lluvia se aplicó el caolín para reponer la pérdida de la película por el lavado. En total se hicieron 10 aplicaciones durante el ciclo de crecimiento de las plantas.

La fertilización se realizó aplicando una solución nutritiva preparada para 1000 L de agua (Cuadro 2) durante todo el ciclo del cultivo formulada con el requerimiento nutricional del mismo, considerando los aportes del suelo y agua. 15 días después de la siembra, la solución nutritiva se aplicó diariamente, las aplicaciones posteriores se realizaron semanalmente.

**Cuadro 2.** Plan de fertilización aplicado al cultivo de calabacita Cv. Carola F1.

<b>Fertilizante</b>	<b>ml por cama</b>
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

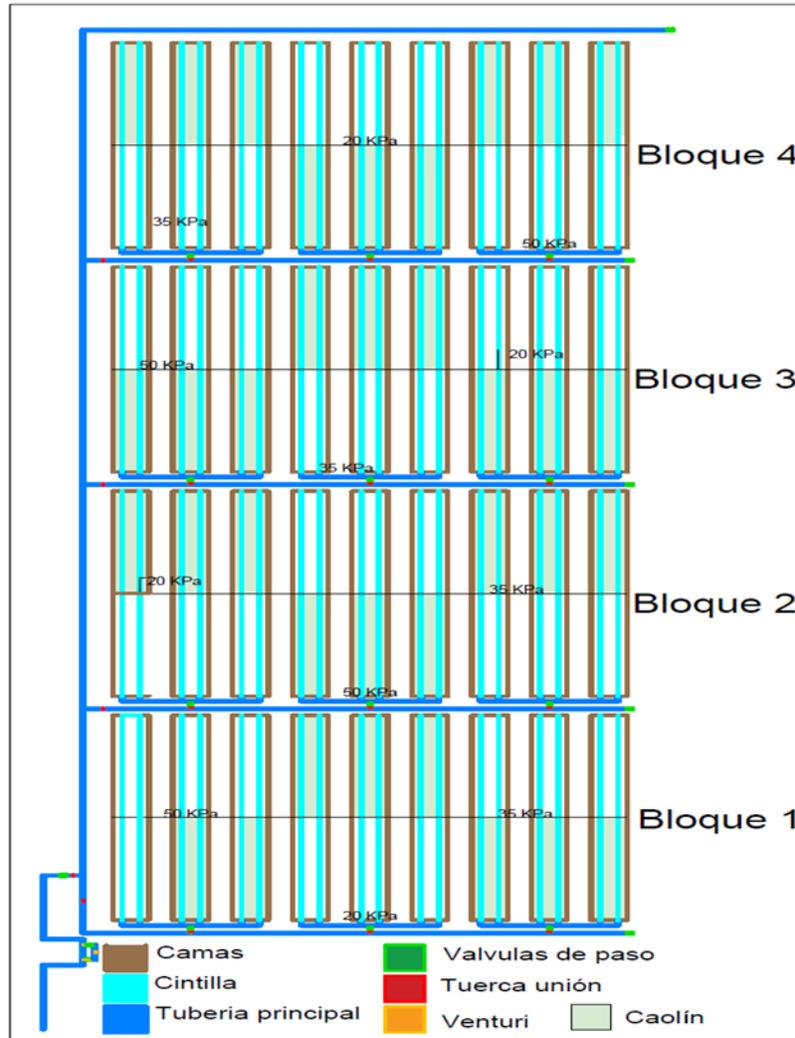


Figura 1. Vista en planta del área de estudio.

#### Temperatura de la hoja y Contenido relativo de clorofila (SPA)

La dinámica diaria de la temperatura superficial de la hoja se midió utilizando termómetros infrarrojos, ubicados en forma horizontal a aproximadamente 2 cm de distancia del centro de la hoja (con y sin caolín), y conectados a un datalogger para hacer registros de la temperatura en intervalos de media hora. La temperatura al medio día 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, japan). Cada lectura resulto de la media de cuatros hojas por tratamiento.

## Análisis estadístico

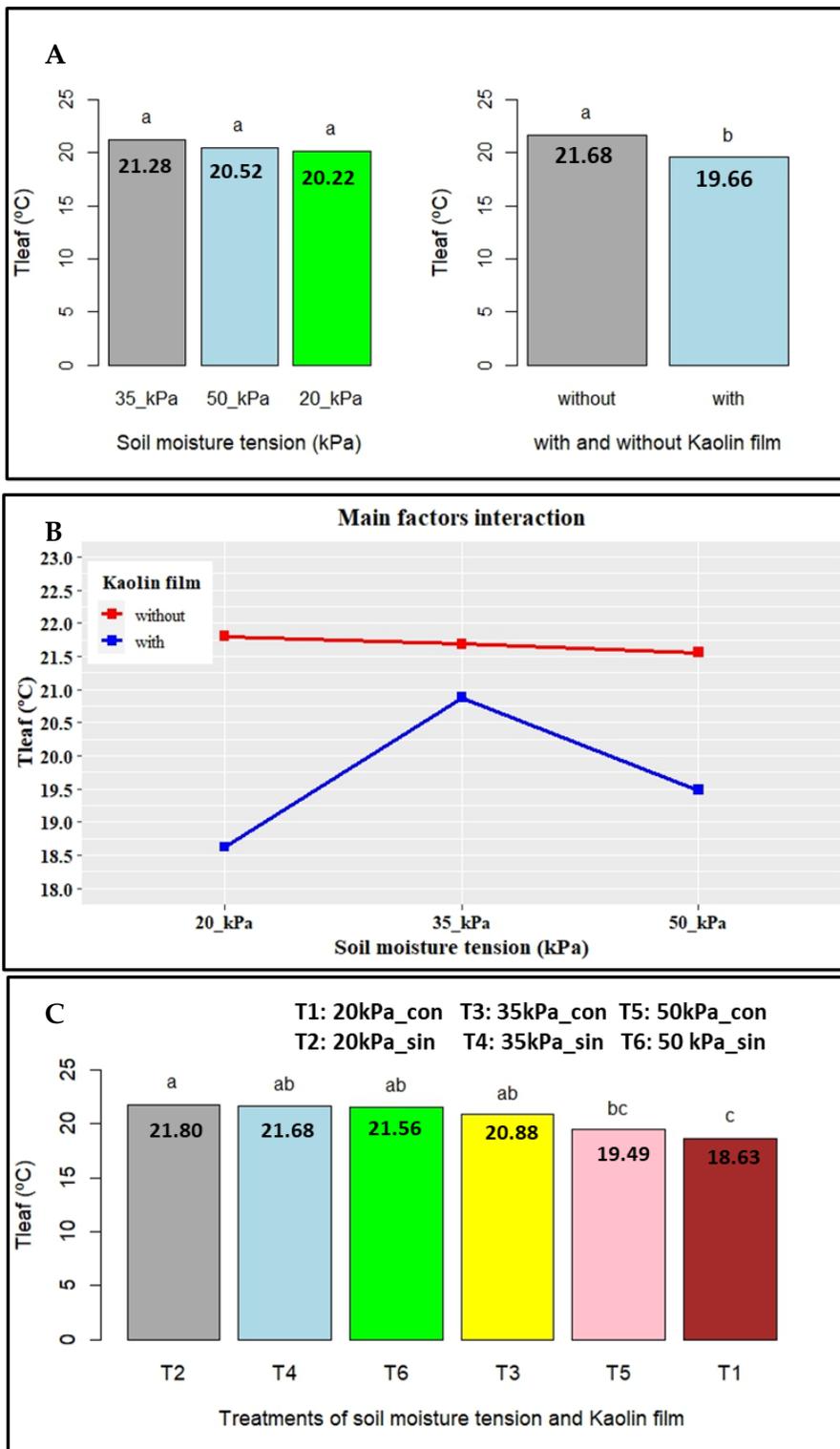
El análisis estadístico se realizó utilizando el Proc GLM (modelos lineales generales) procedimiento de SAS (SAS Institute, Inc., Cary, N.C.) en un nivel de significancia de  $p \leq 0,05$ . El análisis de varianza (ANOVA) se realizó para determinar las diferencias entre tratamientos para cada parámetro como aplicable al diseño completo de bloques al azar dispuestos en procedimiento de parcelas divididas. La comparación múltiple de media de tratamiento 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 de los tres niveles de tensión de humedad del suelo fue 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 con y sin la película de caolín (3.17 °C) fue en la tensión de 20 KPa (Figura 2, B) (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) y la menor (0.8 °C) en la tensión de 35 KPa (Figura 2, B). La temperatura de las hojas de las plantas del tratamiento uno (20 KPa con película de caolín) y el tratamiento cinco (50 KPa con película de caolín) fue menor que el de las plantas del Tratamiento dos (20 KPa sin película de caolín), Figura 2, C (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Los resultados de este estudio indican diferencia estadística no 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 bajo estrés hídrico severo. Por ejemplo, en un cultivo de maíz en una zona árida con temperatura del aire mayor de 30 °C la temperatura de las hojas fue 1.8 °C mayor en las plantas regadas al 60% de la evapotranspiración de cultivo (ETc) respecto a las plantas que se regaron al 100 % de la ETc. (Zavala-Borrego *et al.*, 2022).

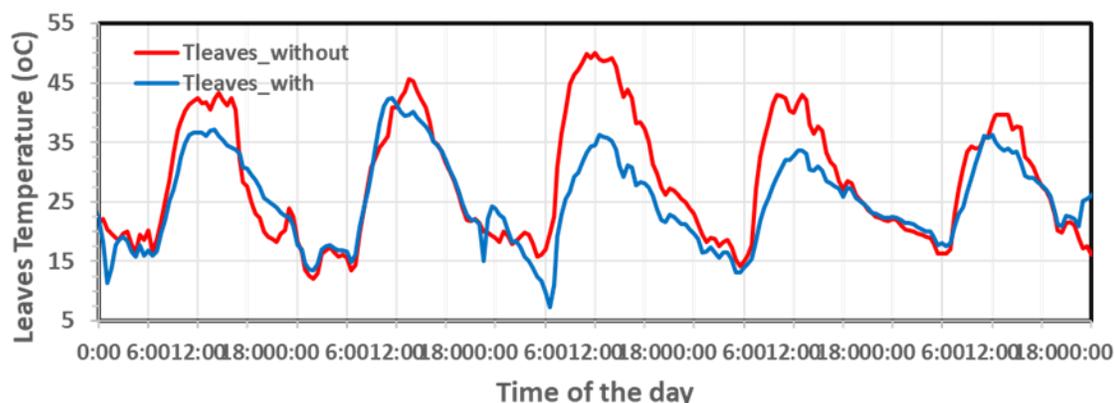


**Figura 2.** Efecto de la Tensión de humedad del suelo y película de partículas (Caolín) en la temperatura de las hojas de plantas de calabacín (cv Carola F1). A). Efecto de los factores principales B). Interacción de los factores principales y C). Comparación de medias de los tratamientos. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

En hojas de unchuva 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 unchuva aumentó aproximadamente  $\sim 4,5$  °C debido al estrés hídrico, mientras que los tratamientos con caolín provocaron una disminución de aproximadamente  $\sim 1,4$  °C. Por último, 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 7.5% en régimen de riego completo. Los resultados de este estudio muestran claramente que la temperatura de las hojas es menor con la película de caolín, esto básicamente se debe al incremento de la reflectancia de la radiación solar incidente por efecto de la película de caolín, por lo que, al absorber menos radiación la temperatura de las hojas decrece. El uso del caolín en la agricultura no es nuevo. De hecho, se ha utilizado desde la década de 1930 para proteger los cultivos de las temperaturas altas. Su principal efecto está representado por un aumento en 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). El caolín, al reflejar la luz del sol desde la superficie de la hoja, reduce la temperatura de la hoja y la cantidad de agua que se evapora de la hoja y la fruta sin ningún efecto sobre el intercambio de gases de la hoja (Jifon y Syvertsen, 2003). Los resultados anteriores en nueces mostraron que la aplicación de caolín redujo la temperatura de la hoja y aumentó la tasa de fotosíntesis, el intercambio de gases estomáticos (Gharaghani *et al.*, 2018), que fueron consistentes con nuestros resultados.

En la Figura 3 se observa la dinámica de la variación diaria de la temperatura de las hojas (mediciones cada segundo y promedios de 30 min) de plantas de calabacita (cv. Carola F1) con y sin caolín, durante el periodo de tiempo comprendido entre el 21 al 25 de junio del 2023. Las fluctuaciones de temperatura de las hojas se debieron a los cambios de las condiciones climáticas y de la hora del día. A las horas de máxima incidencia de radiación solar (12:00 a 17:00 h), la temperatura de las hojas con caolín fue menor que la temperatura de las hojas sin caolín (Figura 3). La diferencia fue mayor durante los días de cielo despejado y menor velocidad del viento, respecto a los días nublados y 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. Patrones similares se observaron en otras fechas en el transcurso de los meses del ciclo de cultivo (febrero-Julio), en donde a las horas de mayor incidencia de radiación, siempre la temperatura de las hojas con la película de caolín fue menor que la de las hojas sin caolín.



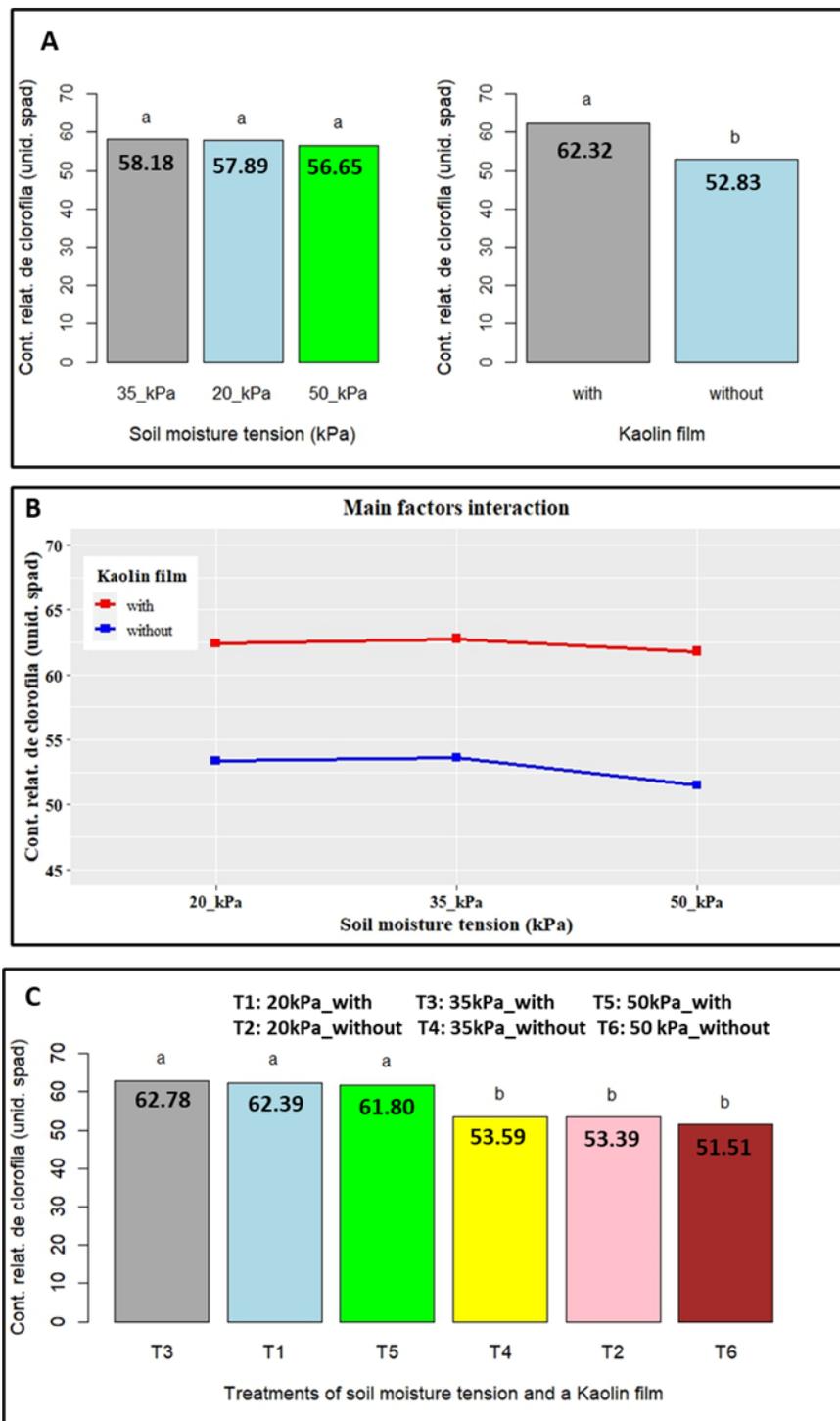
**Figura 3.** Temperatura de las hojas del cultivo Calabacín (híbrido Carola F1) con y sin película de caolín a lo largo del día (promedios de 30 min de mediciones de 1 s) del 21 al 25 de junio de 2023.

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

Estudios previos 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 de 1 a 6 °C (Glenn *et al.*, 2003; Jifon and 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 annun*).

#### 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,  $\alpha \leq 0.05$ ); pero, el contenido relativo de clorofila de las hojas con la película de caolín fue 17.96 % mayor que el de 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 de humedad 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) fueron estadísticamente iguales, pero mayores al de las plantas sin la película de caolín en los tres niveles de tensión de la humedad del suelo (T2, T4 y T6) (Figura 4, C) (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Estudios previos reportan que las hojas de las plantas en tratamientos de riego de mayor estrés tienen menor contenido de nitrógeno y clorofila respecto a las plantas sin estrés (Ghanbari *et al.*, 2013; Singh y Usha, 2003). El estrés por sequía inhibe la síntesis de clorofila en diferentes etapas metabólicas desde la formación de ácido 5 aminolevuliniuco hasta la síntesis de clorofilas a y b junto con su inclusión 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). Al igual que 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) aumento el contenido de clorofila de las hojas. Mientras Retana-Cordero *et al.*, (2022), en plantas de jengibre y cúrcuma tratadas con caolín reportan valores del índice SPAD en 32 % y un 38 % más altos, respectivamente, que los de las plantas de 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 conocido 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, parece que se debe 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 F, disminuyo la temperatura de la hoja e incremento las unidades SPAD. La máxima diferencia en la temperatura foliar con y sin la película de caolín (3.17 °C) fue en la tensión de 20 KPa y la menor (0.8 °C) en la tensión de 35 KPa. El 23 de junio de 2023 durante las horas de máxima radiación solar, se encontró una diferencia de hasta 17° C. Durante la noche, la diferencia de temperatura entre las hojas con y sin caolín fue menor. Los tres niveles de tensión de la humedad del suelo antes de la aplicación del riego no afectaron el contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) de las hojas; pero, el contenido relativo de clorofila de las hojas con la película de caolín fue 17.96 % mayor que el de las hojas sin caolín.

## Referencias Bibliográficas

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 *Physallis peruviana* Seedlings under Two Irrigation Regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 17: 1585-1596.
- 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.
- 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., 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., 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. (2013 b). Kaolin-based foliar reflectant and water deficit influence Malbec leaf and berry temperature, pigments, and photosynthesis. *Am. J. Enol. Vitc.* 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.
- 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.