

## RESPUESTA AGRONÓMICA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ AL UTILIZAR CAOLINITA PARA REDUCIR EL ESTRÉS POR CALOR<sup>a</sup>

### AGRONOMIC RESPONSE IN MAIZE HYBRIDS USING KAOLINITE TO REDUCE HEAT STRESS

Quiroz-Mercado, J.<sup>1\*</sup>; Antuna-Grijalva, O.<sup>1</sup>; Molina-Ayala, E.<sup>2</sup>; Del Río-Rivas, M.J.<sup>2</sup>; Coyac-Rodríguez, J.L.<sup>1</sup>; y Espinoza-Banda, A.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>*Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez S/N. Colonia Valle Verde. Torreón, Coahuila. C.P. 27054. (fito.ul@uaaan.edu.mx). Teléfono: (844) 411 0200. Ext. 7675. \*Autor para correspondencia: jorge.quirozm@uaaan.edu.mx*

<sup>2</sup>*Programa de Licenciatura en Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez S/N. Colonia Valle Verde. Torreón, Coahuila. C.P. 27054. (fito.ul@uaaan.edu.mx). Teléfono: (844) 411 0200. Ext. 7675.*

Fecha de envío: 08, agosto, 2023

Fecha de publicación: 16, diciembre, 2023

#### Resumen:

La respuesta inicial de las plantas al estrés por calor involucra la reducción en la duración de las etapas de desarrollo, así como la disminución en el tamaño de sus órganos, la pérdida de flores fecundadas y, en última instancia, una reducción en el rendimiento. Para contrarrestar los efectos del calor, se han empleado protectores solares basados en caolinita como una alternativa en varios cultivos. Este estudio tuvo como objetivo evaluar las características agronómicas y el rendimiento de grano en cuatro líneas de maíz bajo la influencia de un protector solar en condiciones de altas temperaturas. La investigación se llevó a cabo en la estación experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, durante la temporada primavera-verano de 2019. Se evaluaron cuatro híbridos de maíz (CRM54, RS-8520, RS-8510, 8576) con dos tratamientos distintos (con y sin caolinita). Se registraron diversas variables, como altura de la planta, días hasta la floración masculina y femenina, número de mazorcas, peso de mil granos, rendimiento de grano y temperatura del dosel. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre los híbridos de maíz para la altura de la planta y el rendimiento de grano. En cuanto a los tratamientos con caolinita, no se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) en la mayoría de las variables, a excepción de la altura de la planta. Sin embargo, el tratamiento sin caolinita mostró un mayor rendimiento de grano ( $4.69 \text{ t ha}^{-1}$ ) y temperaturas del dosel más bajas ( $24.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ). El híbrido RS-8510 obtuvo el mayor rendimiento con un promedio de  $5.4 \text{ t ha}^{-1}$ .

**Palabras clave:** protectante, rendimiento, alta temperatura.

<sup>a</sup>Proyecto: Calidad de semilla de cuatro líneas de maíz (*Zea mays L.*) aplicando caolinita para reducir el efecto de estrés por altas temperaturas en Torreón, Coahuila. UAAAN-UL. Tesis de licenciatura.

**Abstract:**

of The initial response of plants to heat stress involves a reduction in the duration of their developmental stages, as well as a decrease in the size of their organs, the loss of fertilized flowers, and ultimately, a decrease in yield. To counteract the effects of heat, sunscreens based on kaolinite have been used as an alternative in various crops. This study aimed to evaluate the agronomic characteristics and grain yield of four maize lines under the influence of a sunblock in high-temperature conditions. The research was conducted at the experimental station of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, located in Torreón, Coahuila, during the spring-summer season of 2019. Four maize hybrids (CRM54, RS-8520, RS-8510, 8576) with two different treatments (with and without kaolinite) were evaluated. Various variables were recorded, such as plant height, days to male and female flowering, number of cobs, thousand-grain weight, grain yield, and canopy temperature. The results showed highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) among maize hybrids in terms of plant height and grain yield. Regarding the treatments with kaolinite, no significant differences were observed in most of the variables, except for plant height. However, the treatment without kaolinite exhibited a higher grain yield ( $4.69 \text{ t ha}^{-1}$ ) and lower canopy temperatures ( $24.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ). The RS-8510 hybrid achieved the highest yield with an average of  $5.4 \text{ t ha}^{-1}$ .

**Keywords:** *Human management, processes, dairy production, working conditions, labor welfare.*

**INTRODUCCIÓN**

El cultivo de maíz (*Zea Mays L.*) es uno de los cereales más importantes por su alto valor nutritivo en el mundo, tanto para la alimentación humana como para la alimentación animal. Al presentar la especie una gran diversidad genética de maíces criollos y mejorados (Matsuoka et al., 2002), puede adaptarse a diferentes condiciones climáticas, como ambientes de clima desértico cálido, donde las temperaturas máximas en el año pueden superar los  $30^\circ\text{C}$ . (Baradas, 1994).

La sensibilidad de una planta a altas temperaturas depende principalmente de las características de la especie. La mayor tolerancia que presentan los cultivares ante factores limitantes (estrés biótico y abiótico), se ha puesto en evidencia de manera consistente, incluyendo el efecto de estrés por calor. La primera respuesta de las plantas al impacto del estrés por calor se traduce en una disminución en la duración de todas las etapas de desarrollo, además de causar reducciones en el tamaño de sus órganos y el rendimiento. Así, en plantas de maíz sometidas a temperaturas superiores a  $35^\circ\text{C}$  por más de ocho días durante la etapa de floración sufren una reducción de hasta 74% en el rendimiento de grano (Rincón et al., 2006).

En la actualidad, nuevas tecnologías se han ido desarrollando para combatir el efecto de estrés por calor en plantas como es el caso del “caolín”, que es considerado como un protector solar de amplio espectro que además de disminuir los daños de las plagas de insectos, puede actuar como protector de las quemaduras solares y del estrés hídrico (Romero et al., 2006). Su uso está autorizado en España, Italia, Grecia, Argentina, Nueva Zelanda y Austria para reducir el “golpe de sol” y el estrés térmico de los cultivos (de la Roca, 2003; Themás et al., 2004). Recientemente, el uso de protectantes solares a base de caolinita han sido utilizados como alternativa para aminorar los efectos de altas temperaturas en cultivos como café (Steiman et al., 2007), plátano (Ortiz et al., 2013), uva (Glenn et al., 2010), entre otros.

La caolinita tiene un gran uso en su aplicación sobre las hojas y se ha demostrado gran utilidad para el control del estrés térmico, lo cual, ha incidido en una mejora del rendimiento final de algunos cultivos como mandarina, café y melón chino (Steiman et al., 2007; Jiménez, 2003; Chabbal et al., 2014). Según algunos autores, esta aplicación permite el intercambio gaseoso, tanto del vapor de agua como del dióxido de carbono y también permite que la luz solar penetre por la capa protectora, que refleja el calor del sol manteniendo al cultivo más frío y protegiéndolo del estrés. A pesar de lo anterior, recientemente se hizo un estudio donde se evaluó el uso de la caolinita en el cultivo de maíz, observando diferencias no significativas en el rendimiento final (Chicaiza, 2018; González, 2020).

Por otra parte, investigaciones recientes sobre escenarios de cambio climático han reportado que en la mayor parte de México han ocurrido aumentos de temperatura que varían de región en región. Proyecciones realizadas por medio de modelos de simulación indican que los mayores aumentos de temperatura se proyectan hacia la parte norte de México (INECC, 2018). En este contexto, incrementos de temperaturas será un factor que afectará el desarrollo y crecimiento de los cultivos.

El empleo de protectores solares en cultivos representa una viable opción para contrarrestar los efectos adversos de las elevadas temperaturas en los sistemas de producción agrícola. No obstante, existe una escasez de investigaciones que aborden la eficacia de la caolinita en el maíz con el propósito de mitigar los impactos negativos de las altas temperaturas en el rendimiento de grano y sus características

agronómicas. Además, son aún más escasas las evaluaciones realizadas en contextos típicos en los que las elevadas temperaturas ejercen una influencia significativa en la región norte del país. Por consiguiente, el objetivo central de este estudio fue evaluar las características agronómicas y el rendimiento de grano de cuatro híbridos de maíz (CRM54, RS-8520, RS-8510, 8576) al utilizar la caolinita como agente de protección solar para contrarrestar el estrés ocasionado por las altas temperaturas en la zona de Torreón, Coahuila.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del área de estudio

El trabajo experimental se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en el Campus Unidad Laguna, el cual se localiza en Torreón, Coahuila, entre las coordenadas 25°32'40'' latitud norte y 103°26'33'' longitud oeste a una altura de 1.120 msnm (SECTUR, 2018). El tipo de clima que predomina es cálido-seco, con una temperatura promedio anual de 24° C (aunque en verano puede superar los 40° C), con lluvias que se registran en los meses de junio, julio, agosto (Castro, 2012), con precipitación anual promedio de 220mm.

### Tratamientos

Se evaluaron los híbridos de maíz CRM54, RS-8520, RS-8510 y 8576 y dos tratamientos de caolinita (con y sin caolinita) durante el ciclo agrícola de primavera-verano de 2019. Los materiales de maíz fueron proporcionados por empresas semilleras. La descripción de cada material sobre su ciclo vegetativo, días a floración, altura de planta y altura de mazorca se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Ciclo vegetativo, días a floración, altura de planta y altura de mazorca de cuatro híbridos de maíz.

**Table 1.** Vegetative cycle, days to flowering, plant height, and ear height of four maize hybrids.

Híbrido	Ciclo Vegetativo	Días a Floración (d)	Altura de planta ----- (cm)	Altura de mazorca -----
CRM-54	Intermedio	62-70	250 - 275	130
RS-8520	Intermedio	65	210 - 240	125
RS-8510	Intermedio	70-72	215	112
8576	Intermedio	63-65	280 - 310	150

Para el caso de la caolinita, se aplicó un protectante solar llamado “Sorround”, utilizando dos dosis de aplicación: 1.- Sin caolinita (como testigo) y 2.- Con caolinita. La aplicación del producto se realizó con una bomba de motor de cuatro tiempos, el producto se mezcló con agua, y se aplicó en todo el follaje, cuidando que la planta quede completamente cubierta. Las fechas de aplicación, etapa fenológica y dosis del producto se muestran en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Fecha y dosis de aplicación del producto con caolinita llamado “Sorround”, y etapas fenológicas del maíz.

**Table 2.** Date and dosage of application of the product with kaolinite called "Sorround," and maize phenological stages.

<b>Fechas de aplicación</b>	<b>Dosis /aplicación (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Etapas fenológica</b>
13/07/2019	40	V8
20/07/2019	40	V9
27/07/2019	40	V11
03/07/2019	40	VT

### Manejo del experimento

La preparación del terreno consistió en un barbecho, una rastra, medición y trazado de los bloques. Utilizando una densidad de siembra de 66,500 plantas por hectarea. La siembra se realizó el 24 de mayo de 2019, de manera directa, depositando dos semillas en el suelo cada 15 cm, a una profundidad de 5 cm. El espacio entre surcos fue de 75 cm con una longitud de 5 m. A los 15 días después de la siembra se depuró una planta cada 15 cm, las plantas que mostraron menor vigor son las que se eliminaron.

Se estableció un sistema de riego por goteo con una cintilla por surco, con espacios en los orificios de 20 cm y con una capacidad de descarga de .66 L/h. Los riegos se aplicaron en las etapas críticas y donde el cultivo demandaba agua. Para la fertilización se usó una dosis de 120N-80P-00K, utilizando un inyector de tipo Venturi para su aplicación durante los riegos. Las unidades de fertilizante se realizaron en 3 aplicaciones, en la primera aplicación fueron 32 kg de urea, 26 de urea ácida y 42 kg de ácido fosfórico (05-junio-2019); en la segunda 25 de urea,

22 kg de urea ácida y 38 kg de ácido fosfórico (05-julio-2019). En la tercera se aplicaron 15 kg de urea (18-julio-2019).

Para el control de maleza se aplicó un agroquímico el 5 de junio de 2019, con el ingrediente activo atrazina-s metoclor, utilizando las dosis recomendadas por el fabricante. El 22 de junio se realizó una escarda, con la finalidad de aporcar y seguir con el control de maleza. A los 30 días, después del aporque se desmalezó el terreno de manera manual, utilizando azadón. Durante el experimento se presentó el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), el cual se combatió con dos fumigaciones, la primera fue el 12 de junio, aplicando clorraniliprol, ingrediente activo de Dupont Coragen, el cual se recomienda aplicar 75ml – 100 ml/ha. La segunda el 23 de junio aplicando el mismo producto y la misma cantidad.

### **Cosecha**

Se realizó una vez que el cultivo completó su ciclo vegetativo, se procedió a la recolección de mazorcas de forma manual de cada lote de investigación. Se recolectó de cada bloque 3 metros de largo del surco central. Esta actividad se llevó a cabo el 3 de octubre de 2019.

### **Variables climatológicas**

Se registraron las variables climáticas: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación durante la temporada 2019, las cuales fueron proporcionadas por el Centro Meteorológico de Torreón, Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte, Dirección Técnica.

### **Variables agronómicas y rendimiento de grano**

Previo al registro de datos se etiquetó cinco plantas al azar con competencia completa de un surco central de cada parcela con la finalidad de registrar variables de planta y de mazorca (CIMMYT, 1995). Las variables registradas fueron: altura de planta, días a floración masculina, días a floración femenina, número de mazorcas, peso de mil granos y rendimiento de grano. Además, se midió la temperatura del dosel con un termómetro de cultivo, tomándolo desde la altura del pecho con dirección a la altura media del dosel de la planta de cada parcela con tratamiento y sin tratamiento de caolinita, con el fin de saber si variaban las

temperaturas. Los registros de temperatura del dosel se tomaron a partir de la etapa fenológica de antesis cuando inició la aplicación del producto llamado “Sorround”.

### **Diseño experimental y análisis estadísticos**

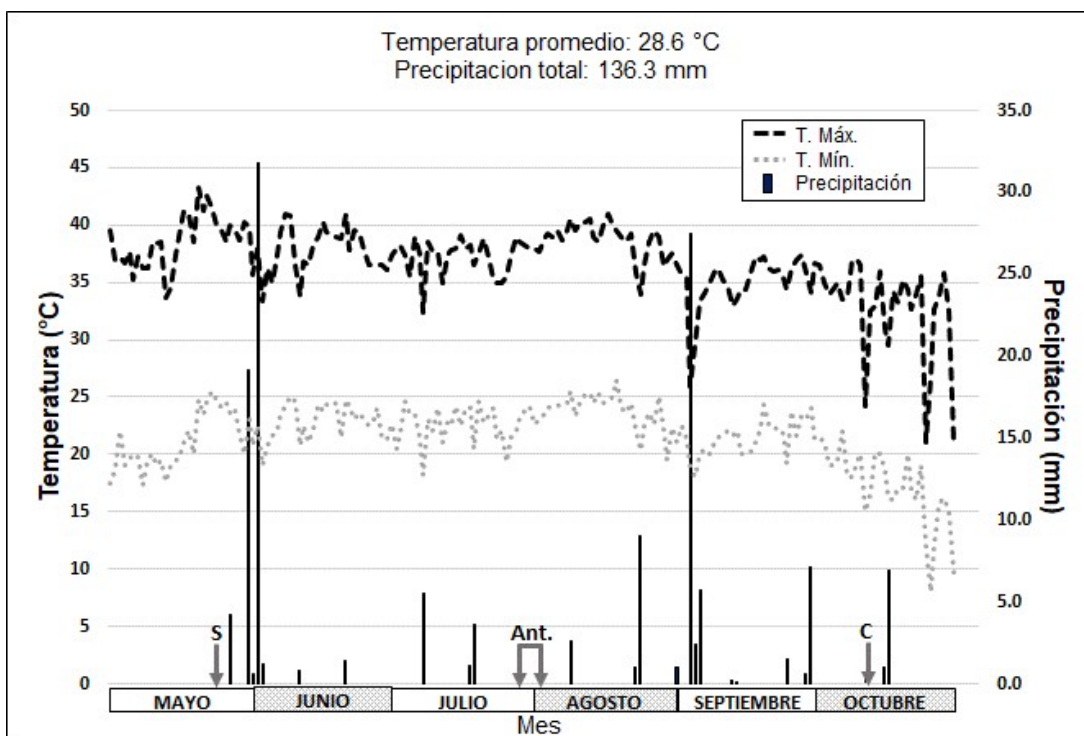
Se realizó mediante un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Para cada variable registrada se realizaron los análisis de varianza con el programa estadístico SAS versión 9.0 (2004). Cuando los valores de F de los análisis de varianza resultaron significativos, se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 0.05 de significancia.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Condiciones Climatológicas**

Durante el desarrollo del experimento entre mayo y octubre de 2019, se registró una temperatura promedio de 28.6°C y una precipitación total de 136.3 mm. En la Figura 1 se aprecia en los meses de mayo, junio y agosto temperaturas máximas por arriba de los 40°C, las cuales, por momentos fueron constantes hasta por un periodo de 5 días. En el mes de mayo se alcanzó el valor máximo de temperatura con 43.3°C, mientras que, en el mes de octubre se alcanzó el valor mínimo de temperatura, el cual fue de 8°C. Al finalizar el mes de octubre, se registró un descenso en los valores de temperaturas máximas y mínimas. Las condiciones climatológicas presentes durante el desarrollo del experimento, y especialmente los valores de temperaturas máximas, indican la posibilidad de que las plantas hayan experimentado cierto grado de estrés por altas temperaturas, debido a que por momentos las temperaturas sobrepasaron el umbral que se tiene registrado para el cultivo de maíz (Tollenaar et al., 1979). Sin embargo, los periodos breves de estrés por altas temperaturas no coincidieron con el periodo crítico del cultivo (etapa de floración), lo cual, probablemente no generó un efecto negativo importante en el rendimiento final de grano (Edreira y Otegui, 2012).





**Figura 1.** Distribución de la precipitación y temperaturas durante el desarrollo del experimento en Torreón, Coahuila, 2019. S = siembra; Ant. = Antesis; C = cosecha.

**Figure 1.** Precipitation and temperature distribution during the experiment's development in Torreón, Coahuila, 2019. S = planting; Ant. = Anthesis; C = harvest.

### Análisis de varianza

Los resultados de los análisis de varianza que se presentan en el Cuadro 3, muestran que para el factor tratamientos de caolinita no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en todas las variables de estudio, excepto para la variable altura de planta ( $p < 0.05$ ). Estudios hechos en el cultivo de plátano donde se utilizaron diferentes dosis de caolinita se reportó que la altura de planta fue mayor cuando se aplicó caolinita en comparación al tratamiento sin caolinita (Ortiz et al., 2013). De igual manera, Ortiz et al. (2013) reporta en el mismo cultivo de plátano disminuciones en los días de siembra a floración usando el producto "Surround WP"; y aunque en este estudio con maíz no hubo diferencias significativas en días a floración masculina y días a floración femenina, el tratamiento con caolinita presentó menores valores en estas dos variables comparado con el tratamiento sin caolinita. Sin embargo, los resultados de nuestro trabajo difieren con Chicaiza (2018), donde no se presentaron diferencias



significativas en la altura de planta al aplicar varias dosis de caolín en el cultivo de maíz. Para las variables peso de mil granos y rendimiento de grano se presentan resultados en acuerdo con los datos reportados de Chicaiza, (2018) donde no hubo diferencias significativas en peso de cien granos y rendimiento de grano. En la fuente cultivar, se detectaron diferencias significativas al 0.01 para la variable altura de planta y rendimiento de grano, mientras que, para la variable número de mazorcas se encontraron diferencias al 0.001. En la interacción tratamiento de caolinita x cultivar no se presentaron diferencias estadísticas ( $p > 0.05$ ) para todas las variables de estudio.

**Cuadro 3.** Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza de variables de rendimiento y crecimiento de maíz en el ciclo primavera-verano 2019.

**Table 3.** F-values and their statistical significance from the analysis of variance for maize growth and yield variables in the spring-summer 2019 season.

F.V.	G.L.	AP	DFM	DFF	P1000G	NM	TD	RG
Trat (T)	1	0.04*	0.49ns	0.37ns	0.81ns	0.37ns	2.87ns	0.33ns
Cult (C)	3	0.00**	0.55ns	0.44ns	0.12ns	0.00***	0.28ns	0.00**
T x C	3	0.78ns	0.38ns	0.46ns	0.84ns	0.51ns	0.44ns	0.87ns
Error	12	0.01	128.72	36.18	607.03	6.31	0.64	1.41
Med		2.31	69.71	70.25	126.83	17.63	24.7	4.29
C.V.		4.33	16.28	8.56	19.43	14.25	3.25	27.66

Altura de planta (AP), días de floración masculina (DFM), días de floración femenina (DFF), peso de 1000 granos (P1000G), número de mazorcas (NM), temperatura del dosel (TD), y rendimiento de grano (RG). ns = No significativo.; \*, \*\*, \*\*\* = Significativo al 0.05, 0.01 y 0.001 respectivamente. Trat = Tratamiento de caolinita; Cult = Cultivar.; C.V. = Coeficiente de variación.

Para la variable temperatura del dosel no hubo diferencia significativa ( $p > 0.05$ ), como se observa en el Cuadro 3. La temperatura máxima que se presentó para el tratamiento sin caolinita fue de 30.7°C, y una mínima de 22.8°C. Para el tratamiento con caolinita la máxima fue de 30.6°C, y obteniendo una mínima de 22.3°C. En comparación con otros experimentos basados en aplicación de caolinita para la reducción de temperaturas del dosel, como es el caso del cultivo de lechuga, tampoco se han obtenido resultados favorables, pero, difiere en los resultados obtenidos por Ortiz et al. (2013) en el cultivo de plátano, donde la arcilla de caolinita

disminuyó la temperatura del haz de las hojas 1.7 °C, también Glenn et al. (2002) en su investigación en el cultivo de manzana donde la temperatura redujo 4.4°C en comparación con la temperatura de las plantas donde no se aplicó caolinita.

### Comparación de medias entre tratamientos de caolinita

En la comparación de medias que se presenta en el Cuadro 4, se observa que, la altura de planta en el tratamiento con caolinita fue significativamente mayor (2.33 m) en comparación al tratamiento sin caolinita (2.30 m). Ortiz et al. (2013) reportaron que, al usar la caolinita la altura de planta fue mayor en comparación al testigo, esto debido a que estimuló el crecimiento y el desarrollo de los meristemas en plátano. En este sentido, las diferencias entre tratamientos para la variable altura de planta en nuestro estudio, pudo deberse a que el tratamiento con caolinita aplicado en etapa vegetativa (previo a la antesis), aminoró los efectos de alta temperatura en el periodo de elongación del tallo, donde la temperatura promedio en pre- antesis fue mayor (31.1°C) en comparación al promedio de la temperatura en etapa reproductiva (28.8°C).

**Cuadro 4.** Comportamiento promedio de los tratamientos con caolinita, en el ciclo primavera-verano 2019.

**Table 4.** Average performance of the treatments with kaolinite in the spring-summer 2019 season.

TRAT	AP (m)	DFM ----- (d) -----	DFF -----	P1000G (g)	NM	TD (°C)	RG (t ha <sup>-1</sup> )
S/T	2.30b <sup>§</sup>	72a	72a	128.41a	19a	24.35 <sup>a</sup>	4.69a
C/T	2.33a	67a	69a	125.26a	16a	25.05 <sup>a</sup>	3.89a
DSM	0.02	23.25	9.90	48.30	10.37	3.64	2.71

Altura de planta (AP), días de floración masculina (DFM), días de floración femenina (DFF), peso de 1000 granos (P1000G), número de mazorcas (NM), temperatura del dosel (TD), y rendimiento de grano (RG),<sup>§</sup> Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren significativamente entre sí (DMS 0.05). TRAT = Tratamientos de caolinita; S/T = Sin caolinita; C/T = Con caolinita.

Para las variables días a floración masculina y días a floración femenina, a pesar de que no hubo diferencias significativas ( $P>0.05$ ); en el tratamiento con caolinita se registró una precocidad en estas variables comparado con el tratamiento sin caolinita (Cuadro 4). Estos resultados concuerdan con los reportados en plátano donde reportan menor número de días de siembra a floración (Ortiz et al., 2013). En nuestro estudio, el incremento en los valores de temperatura en el dosel puede explicar la aceleración del ciclo del cultivo como respuesta fisiológica de las plantas a altas temperaturas. Sin embargo, Steiman et al. (2007) reportan que las temperaturas de la superficie de las hojas en café fueron significativamente más bajas ( $-3.4^{\circ}\text{C}$ ) en comparación con el tratamiento de caolinita, lo cual difiere de este estudio al considerar la variable temperatura del dosel.

En los promedios de peso de mil granos y rendimiento de grano no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos con y sin caolinita, no obstante, al aplicar el producto de caolinita el rendimiento de grano fue menor en comparación con el tratamiento donde no se aplicó caolinita, con la aplicación de caolinita el rendimiento disminuyó aproximadamente 800 kg en promedio. En estudios recientes en maíz donde se aplicó la caolinita antes de la anthesis, reportaron que no hubo diferencias significativas en el rendimiento al aplicar la caolinita (Chicaiza, 2018; González, 2020), sin embargo, en ambos estudios reportan que hubo disminución en el rendimiento. El rendimiento de grano de maíz probablemente disminuyó debido a que la caolinita se aplicó en anthesis, por lo cual la aplicación creaba una película sobre la superficie vegetal, ésta tenía algún tipo de reflectancia y como consecuencia insidioso en la disminución de captura de radiación solar, afectando la tasa de fotosíntesis de la hoja (González, 2020). En otro tipo de cultivo como lechuga donde aplicaron dosis diferentes de caolinita de 15, 25, 35  $\text{kg ha}^{-1}$  no se encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento (Gómez y Heredia, 2017). Sin embargo, otra investigación usando caolinita en cultivo de tomate, esta se aplicó en la época de desarrollo de los frutos y a los botones florales de las plantas, y fue ahí donde los rendimientos incrementaron en comparación donde no se aplicó caolinita (Gutiérrez, 2014).

Si bien, varios estudios han reportado resultados positivos en cultivos como café (Steiman et al., 2007), plátano (Ortiz et al., 2013), y mandarina (Chabbal et al., 2014); en este estudio donde se evaluó la respuesta del maíz al uso de la caolinita para reducir el calor, no se observaron diferencias significativas en todas las variables de estudio, excepto en la altura de planta. Y más aún, el tratamiento con caolinita redujo los valores de las variables peso de mil granos, número de mazorcas y rendimiento de grano. Sin embargo, la comparación de estudios que utilizan diferentes especies, no nos permiten comprender estas respuestas del maíz a la caolinita, especialmente si se usan diferentes dosis de aplicación de caolinita en distintas etapas fenológicas de cada especie, así como diferencias en los métodos de mediciones utilizados. Además, otras variables que no se miden en este estudio como la trasmisión de la radiación fotosintéticamente activa o la tasa de fotosíntesis en las hojas impiden comprender las respuestas a la caolinita.

### **Comparación de medias entre híbridos de maíz**

En la comparación entre cultivares se muestra que para altura de planta todos los híbridos se comportaron diferentes (Cuadro 5). El híbrido con mayor altura de planta fue el 8576 con 2.43 m, en segundo lugar, el híbrido RS8510 con 2.38, seguido por el RS8520 con 2.24 m., y el CRM54 con 2.19 m.

Para los días a floración masculina y femenina, el cultivar RS8510 fue el más precoz, el cual, alcanzó la floración masculina en 63 días y la floración femenina en 68 días. El cultivar CRM54 fue el más tardío con 72 y 69 días para la floración masculina y femenina, respectivamente. Posteriormente, le siguió el híbrido RS8520, que mostró una duración de la floración masculina y la floración femenina de 71 y 73 días, respectivamente. Finalmente, el híbrido CRM54 alcanzó la floración masculina a los 71 días y la floración femenina a los 68 días.

En la variable peso de mil granos, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos con caolinita, sin embargo, el híbrido RS8520 logró el mayor promedio, mientras que el CRM54 fue el de menor promedio para esta variable. En número de mazorcas los híbridos RS8520, RS8510 y CRM54, se comportaron de manera similar con 17, 20 y 20 mazorcas respectivamente, mientras que el 8576 fue el que menos mazorcas presentó, difiriendo con el resto de los híbridos (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Comportamiento promedio de los cuatro híbridos de maíz

**Table 5.** Average performance of the four maize hybrids.

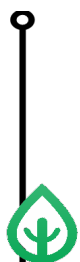
Híbrido	AP (m)	DFM ----- (d) -----	DFF -----	P1000G (g)	NM	TD (°C)	RG (t ha <sup>-1</sup> )
CRM54	2.19c <sup>§</sup>	71a	69a	112.15a	17a	24.78a	3.34a
RS8520	2.24bc	72a	74a	144.85a	20a	24.68a	5.26a
RS8510	2.38ba	64a	69a	134.32a	20a	24.93a	5.40a
8576	2.43 <sup>a</sup>	72a	70a	116.02a	13b	24.41a	2.15a
DSM <sub>Tukey</sub>	0.17	19.45	10.31	42.23	4.30	1.37	2.03

Altura de planta (AP), días de floración masculina (DFM), días de floración femenina (DFF), peso de 1000 granos (P1000G), número de mazorcas (NM), temperatura del dosel (TD), y rendimiento de grano (RG), en el ciclo primavera-verano 2019.<sup>§</sup> Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren significativamente entre sí (DMS 0.05).

En el rendimiento de grano no se encontraron diferencias estadísticas, sin embargo, si varió el rendimiento entre los cuatro materiales de maíz. El híbrido RS8510 fue el que más rindió (5.400 t ha<sup>-1</sup>), seguido por los híbridos RS8520 (5.260 t ha<sup>-1</sup>), CRM54 (3,34 t ha<sup>-1</sup>), y el 8576 (2.150 t ha<sup>-1</sup>). Los rendimientos de maíz registrados en este experimento están acordes con los rendimientos promedios registrados en la región lagunera, donde se reporta que el rendimiento promedio de maíz para grano es de 3.3 t ha<sup>-1</sup> en riego (Wong et al., 2007).

## CONCLUSIONES

El tratamiento con caolinita no modificó el rendimiento de grano ni las características agronómicas, a excepción de altura planta. Es probable que la falta de diferencias significativas en la mayoría de las variables registradas con el uso de caolinita este determinado por la dosis y la etapa fenológica en la cual se aplicó el protectante solar. Si bien, la discrepancia entre estudios anteriores puede estar relacionada con diferencias entre especie, dosis y métodos de medición, estos resultados pueden ser la base para realizar ensayos interdisciplinarios con el uso de protectantes en el cultivo de maíz.



## LITERATURA CITADA

- Baradas, M.W. (1994). Crop requirements of tropical crops. In: handbook of agricultural meteorology. J. F. Griffiths Editor. Oxford Univ. Press. New York. pp. 189-202.
- Castro, A.E. (2012). Factibilidad de la implementación de una planta termosolar para la generación de energía eléctrica en Torreón, Coahuila, México. XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. pp 1247-1259.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1995). Manejo de los ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT. Quinta reimpresión. México. pp 20.
- Chicaiza, L.A. (2018). Evaluación de varias dosis de caolín y momentos de aplicación en el cultivo de maíz (*Zea Mays L.*) y su impacto en la reproductividad. Tesis de licenciatura. Universidad De Guayaquil. Honduras. pp 71.
- Chabbal, M. D., Piccoli, A. B., Martínez, G. C., Avanza, M. M., Mazza, S. M., & Rodríguez, V. A. (2014). Aplicaciones de caolín para el control del golpe de sol en mandarino 'OKITSU'. Cultivos Tropicales, 35(1), 50-56.
- De la Roca, M. (2003). Sorround crop proctectant: La capa protectora natural para los cultivos como el olivar. Phytoma 148, 82-85.
- Edreira, J.I.R., and Otegui, M. E. (2012). Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. Field Crops Research, 130, 87-98.
- Glenn, D.M. (2010). Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant wáter relations. Hortscience. Volumen (45). pp 1178-1187.
- Glenn, D.M., Prado, E., Erez, A., Mcferson J., and Puterka, G.J. (2002). A reflective, processedkaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. Journal of the American Society for Horticultural Science, 127:188-193.
- Gómez, P.F.; Hereida, V.L. A. (2017). Efecto de dosis y frecuencia de aplicación de arcilla de caolinita en la producción de lechuga a campo abierto. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. pp 20.
- González, C.J. (2020). El silicato de aluminio reduce el estrés térmico en el rendimiento de grano de maíz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. pp 29.

- Gutiérrez, J.C. (2014). Efectos de dos protectantes solares sobre el estrés térmico en el cultivo de tomate: la Fragua, Zacapa. Tesis de licenciatura. Universidad Rafael Landívar. Zacapa, Guatemala. pp 66.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2018). Investigación en cambio climático, sustentabilidad y crecimiento verde. Libro blanco 2014-2018. pp. 152.
- Jiménez, J. (2003). Efecto del surround (kaolinita) en los rendimientos y en el daño de la fruta por quema del sol en el melón chino C.V. Century. Informe técnico, programa de hortalizas, 2004. pp 82-84.
- Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M.M., Sánchez J.G., Buckler, E. and Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U. S. A.* 99 (9): 6080-6084.
- Ortiz, R. A.; Bermúdez, A., Valverde, J., Volker, K., Barrows, P. (2013). Aplicación de surround wp® y Greensol 70 sobre el crecimiento, desarrollo y producción de banano (*Musa ssp.*) XX Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos). Fortaleza. pp 169.
- Rincón, J.A., Castro, S., López, J.A., Huerta, A.J., Trejo, C., Briones, F. (2006). Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *Phyton* (Buenos Aires) 75:31-40.
- Romero, A., Martí, E., Tous, J. (2006). Aplicación del caolín como tratamiento contra la mosca en el cultivo ecológico del olivo en distintas zonas de Cataluña. Generalitat de Cataluña. Consejería de Agricultura y Ganadería.
- Secretaría de Turismo (SECTUR). (2018). Agenda de competitividad de los destinos turísticos de México. Universidad Autónoma de Coahuila. pp 715.
- Steiman, S.R., Bittenbender, H.C., Idol, T.W. (2007). Analysis of kaolin particle film use and its application on coffee. *HortScience*. 42(7): 1605-1608.
- Themas A.L., Muller, M.E., Dodson, B.R., Ellersieck, M.R., Kaps. M., (2004). A kaolin based particle film supresses certain insect and fungal pests while reducing heat stress in apples. *Journal of the American Pomological Society* 58(1), 42-51.
- Tollenaar, M., Daynard, T.B., Hunter, R.B. (1979) Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Sci*. 19: 363-366.
- Wong-Romero, R., Gutiérrez-del Río, E., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Herrera, S. A., Córdova-Orellana, H., Espinoza-Banda, A., Lozano- García, J.J. (2007). Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 181-189.