

13

Recibido: septiembre, 2022 Aprobado: octubre, 2022 Publicado: diciembre, 2022

MODIFICACIÓN DE MICROCLIMAS: EVALUACIÓN DE GEOTEMPERATURAS CON DIFERENTES TIPOS DE MULCH Y EL USO DE TERMISTORES

MODIFICATION OF MICROCLIMATES: EVALUATION OF GEOTEMPERATURES WITH DIFFERENT TYPES OF MULCH AND THE USE OF THERMISTORS

Álvaro Francisco Narváez Orellana¹

Email: narvaezalv@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3724-8141>

Angel Eduardo Luna-Romero¹

Email: aeluna@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4311-9445>

Flor Yelena Vega Jaramillo¹

Email: aeluna@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3827-4317>

¹ Universidad Técnica de Machala (UTMACH), El Oro, Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Narváez Orellana, A. F., Luna-Romero, A.L., Vega Jaramillo, F.Y. (2022). Modificación de microclimas: evaluación de geotemperaturas con diferentes tipos de Mulch y el uso termistores. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 115-123. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

La producción agrícola está condicionada por el agua, existen diversas estrategias que optimiza el recurso hídrico, entre los que destaca el uso de mulch para la conservación del suelo y humedad, supresión de maleza, modificación de microclimas, entre otros. El objetivo fue evaluar las geotemperaturas con diferentes tipos de mulch y el uso de termistores para la modificación de microclimas. Se calibró termistores NTC, para obtener las propiedades físicas del suelo se realizó una calicata, las muestras fueron llevadas a laboratorio y se determinó densidad aparente, humedad gravimétrica, punto marchitez permanente, calor específico del suelo seco, se instaló en campo abierto los NTC por debajo de los mulch plástico (negro, azul, verde, rojo), mulch orgánico (tamo de arroz, coronta, aserrín, coco) y un control, a 0 y 10 cm. Con el análisis estadístico de las geotemperaturas se determinó que el aserrín y plástico rojo registraron temperaturas mayores con respecto al control, mientras que con el flujo neto de energía se estimó que los mulch plástico (rojo, azul y negro) pueden tener una mayor ganancia de energía con respecto al mulch orgánico.

Palabras clave:

Mulch, geotemperatura, modificación de microclima, flujo neto de calor.

ABSTRACT

Agricultural production is conditioned by water. There are various strategies that optimize water resources, among which the use of mulch for soil and moisture conservation, weed suppression, microclimate modification, among others. The objective was to evaluate the geotemperatures with different types of mulch and the use of thermistors for the modification of microclimates. NTC thermistors were calibrated, to obtain the physical properties of the soil, a pit was made, the samples were taken to the laboratory and apparent density, gravimetric humidity, permanent wilting point, specific heat of the dry soil were determined, the NTC was installed in the open field by below the plastic mulch (black, blue, green, red), organic mulch (rice mulch, coir, sawdust, coconut) and a control, at 0 and 10 cm. With the statistical analysis of the geotemperatures, it was determined that the sawdust and red plastic registered higher temperatures with respect to the control, while with the net flow of energy it was estimated that the plastic mulch (red, blue and black) may have a greater gain of energy relative to organic mulch.

Keywords:

Mulch, geotemperature, microclimate modification, net heat flux.

INTRODUCCIÓN

El agua es el principal factor que condiciona la producción en el sector agrícola, especialmente en zonas áridas y semiáridas; el patrón de distribución de la precipitación es afectado por la acción del cambio climático; por consiguiente, se complica la sostenibilidad de la agricultura; en este sentido, se han desarrollado diferentes técnicas y tecnologías para el uso racional del recurso hídrico, tales como: los sistemas de riego localizado, el riego deficitario, entre otras (Colak, 2021).

El uso de mulch, tanto orgánico como inorgánico, es otra estrategia que cumple con el propósito de mantener la humedad del suelo, pero también conserva la salud del suelo, modifica la temperatura, tanto del suelo (geotemperatura) como del aire, y aumenta la productividad; la selección del mulch para modificar los regímenes de geotemperatura depende de diversos factores, como el propósito del mulch, los tipos de suelo, el clima, entre otros; el intercambio de energía entre el suelo, el mulch y la atmósfera, este sistema tiene su grado de complejidad que vuelve difícil la selección del mejor mulch (Pramanik et al., 2015).

Asimismo, Mendonça et al., (2021) mencionan que el color del mulch plástico influye en el comportamiento de la energía radiante y, por consiguiente, en el microclima que puede afectar la geotemperatura. Por tanto, los regímenes térmicos del suelo se pueden modificar con el uso de diferentes mulch, por efecto de la radiación solar entrante; la geotemperatura de un suelo depende de la energía radiante absorbida por la superficie del suelo, el flujo de calor del perfil del suelo condicionado por las características térmicas del suelo y el intercambio de calor entre el suelo y el aire (Pramanik et al., 2015).

Los resultados positivos a través del uso del mulch ha derivado en la producción de una diversidad de materiales que tienen una serie de combinaciones de propiedades ópticas (reflectividad, absorción o transmisión) (Pramanik et al., 2015). El mulch plástico, es eficiente en la conservación de la humedad y control de la maleza; bajo este mulch, las propiedades del suelo como la geotemperatura, densidad aparente, estabilidad de los agregados y la disponibilidad de los nutrientes mejoraron; además, las características morfológicas y el rendimiento de los cultivos tienen un efecto positivo con el uso del mulch plástico, que modifica el microclima del suelo (Lalitha et al., 2010).

El mulch plástico transparente absorbe poca radiación solar, pero retiene gran parte del calor, debido al efecto de las gotas de agua condensadas debajo del mulch, que impiden la salida de la radiación de onda larga; por lo tanto, la temperatura diurna del suelo con mulch es mayor que el suelo desnudo (Lalitha et al., 2010). Por otro lado, el mulch plástico negro es el más utilizado en la producción de plantas, éste se caracteriza por absorber la mayoría de las longitudes de ondas visibles e infrarrojas de la radiación solar, pero también tiene la capacidad de

emitir la energía absorbida en forma de radiación térmica; la conductividad térmica del suelo es mayor que la del aire, por tanto, una gran proporción de la energía absorbida por el mulch puede transferirse por efecto de la conducción, lo que resulta en un aumento de la temperatura del perfil del suelo (Lalitha et al., 2010; Pramanik et al., 2015; Mendonça et al., 2021).

Lalitha et al., (2010) mencionan que las geotemperaturas, bajo el mulch plástico negro, son generalmente mayor en las profundidades de 5 y 10 cm comparados a escenario de un suelo desnudo. Asimismo, Pramanik et al., (2015) menciona que en ensayos con mulch, la geotemperatura más alta se registró bajo el mulch plástico negro, en un rango entre 2.2 a 3.4 °C mayor que en el suelo desnudo, este efecto fue más evidente en la etapa inicial del cultivo con menor aérea sombreada por el dosel. Sin embargo, temperaturas extremas, tanto del suelo como del aire, por encima de las óptimas pueden causar impactos negativos en el crecimiento de las plantas, Zhang et al., (2019) presentaron que el crecimiento de las raíces del cultivo de tomate fue restringido, tanto en longitud como en diámetro, por el estrés de las altas temperaturas del mulch plástico negro.

El mulch rojo es un color nuevo que se investiga, donde ya se han registrado resultados favorables, que además de mantener la humedad podría reducir la gravedad de la enfermedad del tizón temprano en tomate (Lalitha et al., 2010). You et al., (2021) mencionan que el mulch rojo, pero en material de papel biodegradable, por efecto de la transmisión, reflexión y absorción de la luz solar, tiene una mayor irradiancia azul-violeta y rojo-naranja (proporción 1:3); es decir, existe una mayor reflexión de la luz, y, por tanto, menos energía pasa a través del mulch, efecto que promueve el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

En la literatura está bien documentado el uso del mulch plástico para reducir la erosión del suelo y la conservación del agua (Mendonça et al., 2021; Pramanik et al., 2015). Sin embargo, el efecto del mulch sobre el manejo del suelo salino aún no está bien documentado; donde el mulch plástico al reducir la pérdida de agua por evaporación del suelo, podría proteger la salinización del suelo superficial por el agua subterránea; en este sentido, se evaluó el efecto del mulch plástico color azul, cumpliendo la función de elevar la temperatura del suelo y reducir la salinidad del suelo; con respecto a ésta última, redujo el 43% el valor de conductividad eléctrica en relación al tratamiento control (Asadul et al., 2018).

Mendonça et al. (2021) mencionan, para la temporada otoño-invierno, que el mulch plástico de color verde aumentó 2°C la geotemperatura a las 07H00 en comparación con el tratamiento control, en profundidades de 5 y 10 cm; resultados similares se registraron a las 14H00 con un incremento promedio de 2.54°C, es necesario resaltar que datos similares se obtuvieron con los mulch plástico de color oscuro (marrón y negro). Las geotemperaturas bajo mulch depende de las propiedades térmicas

específicas del material utilizado y de la radiación solar incidente (Pramanik et al., 2015).

Se ha mencionado los diversos efectos positivos del uso del mulch plástico, tales como: la modificación de la geotemperatura, reducción de la evapotranspiración, mejor control de malezas y reducción de la compactación del suelo (Briassoulis & Giannoulis, 2018); a escala global la demanda de mulch plástico aumentó, especialmente en Asia; más de 80000 km² de suelo agrícola se cubren cada año con plástico (Briassoulis & Giannoulis, 2018). Sin embargo, existe una serie de riesgos y efectos adversos; la mayoría del mulch están elaborados con polietileno, que no son biodegradables, lo que a largo plazo genera un riesgo ecológico (Ng et al., 2018).

Bajo el enfoque de una agricultura de sostenible se han utilizado mulch orgánico, donde varios estudios han demostrado que pueden lograr bloquear la luz visible, reducir la temperatura del suelo, y, por lo tanto, modificar el microclima; con la finalidad de alterar las condiciones necesarias para la germinación de maleza, que demuestra niveles aceptables de supresión de la maleza debido a la liberación de compuestos alelopáticos o al cambiar las características químicas del suelo (Zangouejad & Alebrahim, 2021). Además, este tipo de mulch también puede aumentar el contenido de humedad del suelo, reducir la evaporación y mejorar las propiedades del suelo, con la incorporación de materia orgánica, después de la incorporación de residuos al final de la cosecha (Zhang et al., 2019).

Zangouejad & Alebrahim, (2021), para el cultivo de tomate, probaron diversos materiales orgánicos como alternativa al uso convencional del mulch plástico, entre estos materiales están el tamo de arroz, residuos del maíz, aserrín, residuos de coco (triturado y picado); donde, a los 70 días después del trasplante (DDT) el aserrín y los tratamientos combinados con este material se obtuvo mejores resultados en la disminución de la densidad de malezas; mientras que a los 21 DDT, el tamo de arroz y residuos de maíz no presentaron diferencias significativas con respecto al tratamiento de mulch plástico negro. Por otro lado, Mendonça et al.,(2021), mencionan que el mulch de tamo de arroz resultó en una reducción de hasta 3°C en la geotemperatura en comparación con el tratamiento control, especialmente a las 14H00.

El mulch debe usarse ampliamente para la conservación del suelo y la humedad, modificación del microclima, es decir, modificar el régimen térmico del suelo (Pramanik et al., 2015). Por un lado, cada color de mulch plástico absorbe, transmite y refleja la radiación solar incidente de forma diferente, y resulta en distintas respuestas en la geotemperatura del suelo, por consiguiente, los efectos del mulch sobre el desarrollo y la producción de plantas aún no son concluyentes (Mendonça et al., 2021). Por otro lado, es necesario mejorar y optimizar el uso de materias primas orgánicas con el enfoque de mulch y comparar su eficacia con relación al mulch plástico. Por lo tanto, el

objetivo de la investigación fue evaluar las geotemperaturas con diferentes tipos de mulch y el uso de termistores para la modificación de microclimas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en condiciones de campo abierto, en granja experimental Santa Inés de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, ubicada en la parroquia El Cambio, provincia de El Oro, Ecuador, a una altitud de 6 msnm; el régimen pluviométrico es unimodal con una marcada estacionalidad (Luna-Romero et al., 2018), con un periodo lluvioso de diciembre a mayo, con una precipitación media anual 1250 mm y una temperatura promedio anual que va en un rango entre 24 y 26°C (GAD Machala, 2015).

En la investigación se utilizó diferentes tipos de mulch, tanto plásticos de diferentes colores: negro (T1), azul (T2), verde (T3), rojo (T4), como orgánicos (restos vegetales): tamo de arroz (T5), coronta (T6), aserrín (T7), coco (T8), y un tratamiento control (T0, suelo sin mulch), cada unidad experimental (UE) tuvo una dimensión de 5 m por 1 m, bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con tres repeticiones.

La primera fase del experimento consistió en la calibración de termistores de coeficiente de temperatura negativo (NTC, por sus siglas en inglés), los NTC son ampliamente utilizados como transductores para medir y controlar la temperatura, entre otras variables físicas, estos elementos muestran una disminución en la resistencia eléctrica con el aumento de la temperatura, bajo un comportamiento de tipo no lineal (aproximadamente exponencial) (Sarkar et al., 2013), en este caso los NTC cumplieron la función de sensores de la temperatura del suelo. La calibración se realizó en laboratorio, se introdujo el termistor en un vaso de precipitados al igual que el termómetro de referencia (en este caso de mercurio), con un multímetro se midió la resistencia de los NTC para las temperaturas de 5, 25 y 50°C. Para la calibración se utilizó la ecuación de Steinhart-Hart (Steinhart & Hart, 1968):

$$T^{-1} = A + B \log R + C (\log R)^3$$

Donde, T^{-1} es la temperatura inversa expresada en Kelvin, R es la resistencia expresada en ohmios (Ω) y A, B y C son las constantes que se ajustarán, para el ajuste de los coeficientes se determinó con el uso de tres ecuaciones a partir de las tres lecturas de temperaturas (5, 25 y 50°C), que finalmente se resolvió a través de determinantes. Esta ecuación describe con precisión las características de los NTC para un rango de entrada relativamente más amplio y, por lo tanto, es más realista (Pal et al., 2018), los valores de T^{-1} se llevaron a °C restando el valor de 273.15.

En una segunda fase, se determinó las propiedades físicas del suelo, clase textural de la parcela fue franco-arcillosa, información recabada de un análisis de suelo; para la calicata se realizó el siguiente proceso: se delimitó un

espacio de aproximadamente de 1 m por 2 m, se colocó suelo alrededor de tal forma que se asemejó a una poza, se agregó agua y finalmente se cubrió con plástico que impidió la pérdida de agua por evaporación, de acuerdo a la clase textural se muestreó tres días después a las profundidades de 0, 10 y 30 cm, con la ayuda de cilindros volumétricos; la densidad aparente (D_a) y la humedad gravimétrica (G_w) se determinaron en función al protocolo y ecuaciones propuestas por Lowery et al. (1996):

$$G_w = (m_{sh} - m_{ss} / m_{ss}) * 100$$

$$D_a = M_{ss} / V_t$$

Donde, G_w se expresa en porcentaje (%), m_{sh} es la masa de suelo húmedo y m_{ss} es la masa de suelo seco, ambos expresado en gr, V_t es el volumen de suelo expresado en cm^3 y D_a en $gr\ cm^{-3}$. La m_{ss} se determinó en estufa a $105^\circ C$ hasta que adquirió masa constante, para el V_t se midió el diámetro interno y la altura de los cilindros. El parámetro del punto de marchitez permanente (PMP) se estimó mediante la ecuación de Silva et al., (1988):

$$PMP = G_w * 0.74 - 5$$

Con los valores obtenidos se determinó el perfil vertical de G_w , PMP y D_a desde 0 (z_1) hasta 30 cm (z_3); asimismo, se estimó para las capas de 0 a 10 cm (z_1 - z_2) y de 10 a 30 cm (z_2 - z_3).

Otro parámetro físico que se determinó fue el calor específico del suelo seco (C_{ss}) para las diferentes profundidades de las muestras de suelo. El C_{ss} es la cantidad de calorías que se debería aplicar aun cuerpo para aumentar en $1^\circ C$ la unidad de masa, es decir, el suelo se calentará más rápido cuanto más bajo sea su C_{ss} ; además, el agua se calienta más lentamente que el suelo (el calor específico del agua es de una caloría por gramo), por consiguiente, éste se calienta más lentamente cuanto más húmedo está (Ruck et al., 2004).

Para el C_{ss} se utilizó un calorímetro siguiendo el procedimiento de Unsuhay (2002): la masa de suelo seco (m_{ss}) con calor específico (C_{ss}) se colocó la dentro del calorímetro de masa (m_R) y calor específico conocida (C_R); este sistema se ubicó en un ambiente (refrigeradora por un periodo mínimo de 12 horas) para que tanto el calorímetro como el suelo adquieran la temperatura de este ambiente, es decir, T_{IR} (temperatura inicial del calorímetro) y T_{IS} (temperatura inicial del suelo seco); agua con una masa (m_c) y calor específico conocido (C_c) se calentó a una temperatura (T_{IC} , temperatura inicial del agua caliente) aproximadamente entre 35 a $40^\circ C$; luego se colocó el agua caliente (m_c) en el calorímetro (m_R) y se agitó hasta que se observó una temperatura de equilibrio en la mezcla (T_F), el proceso de mezcla se realizó de manera muy rápida para evitar la pérdida de calor hacia el exterior; con los valores obtenidos se estableció la ecuación de calor ganado por el calorímetro y calor perdido por el agua de masa m_c , de donde se despeja C_{ss} :

$$m_R C_R (T_F - T_{IR}) + m_{ss} C_{ss} (T_F - T_{IS}) + m_c C_c (T_F - T_{IC}) = 0$$

La fase tres del ensayo consistió en la instalación de los termistores NTC, previamente calibrados, en cada tratamiento, a una profundidad de 0 (aproximadamente a 2 cm por debajo del mulch) y 10 cm (Ashrafuzzaman et al., 2011; Mendonça et al., 2021); los NTC, debidamente etiquetados, se ubicaron en un soporte (listón de madera), y, con el multímetro se realizó las lecturas en una frecuencia de una hora desde las 07H00 hasta las 19H00. El gradiente de temperatura en un sólido o fluido en movimiento es dT/dz , la tasa de conducción de calor por unidad de área (G) es directamente proporcional al gradiente térmico y la conductividad térmica del material (k); el flujo de calor esta dado por la siguiente ecuación (Unsuhay, 2002):

$$G = -k (dT / dz)$$

El signo negativo expresa que el calor se transfiere en la dirección de la disminución de la temperatura. Para reducir la ecuación anterior, se evaluó el flujo neto de calor (ΔG) en dos niveles, z_1 y z_2 (0 y 10 cm), el ΔG es equivalente al cambio de energía en el tiempo ($\Delta t = t_2 - t_1$) dentro del sistema ($\Delta z = z_2 - z_1$), expresada en esta nueva ecuación:

$$\Delta G = \frac{C}{2} [(T_{z2} + T_{z1})_f - (T_{z2} + T_{z1})_i] \frac{\Delta z}{\Delta t}$$

Donde, los subíndices i y f indican las lecturas de las geotemperaturas en un tiempo inicial y final de cada nivel o profundidad, esta ecuación permite calcular el ΔG en el suelo en función de la capacidad calorífica del suelo (C) y las tautócronas inicial y final a diferencia de la ecuación anterior que está en función de la conductividad térmica del material (k). La capacidad calorífica del suelo se estimó como el producto de la densidad aparente y el calor específico del suelo húmedo (C_s), es decir, $C = D_a * C_s$; para el C_s se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_s = C_L U + C_{ss} (1 - U)$$

Donde, C_s se expresa en $cal\ cm^{-3}\ ^\circ C^{-1}$, C_L es el calor específico del suelo húmedo, U es la humedad del suelo (diferencia entre G_w y PMP), C_{ss} es el calor específico del suelo seco.

Para los cálculos de utilizó el lenguaje de programación R, en la estadística se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con la finalidad de determinar diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos, y las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad (Mendonça et al., 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se calibraron 18 termistores usando la ecuación de Steinhart & Hart (1968), en la Tabla 1 se detallan los coeficientes A, B y C.

Tabla 1. Lecturas de los termistores expresadas en ohmios (Ω) para las tres temperaturas (5, 25 y 50°C), y los coeficientes A, B y C de Steinhart & Hart (1968), expresado en notación científica, para la ecuación de cada termistor NTC

NTC	Resistencia (Ω)			Coeficientes		
	5°C	25°C	50°C	A	B	C
T1	25200	9600	2760	2.31×10^{-3}	5.60×10^{-5}	6.93×10^{-7}
T2	16300	6550	2910	-8.81×10^{-4}	5.76×10^{-4}	-1.12×10^{-6}
T3	21700	8100	2730	1.34×10^{-3}	2.15×10^{-4}	1.10×10^{-7}
T4	24700	9550	2420	2.87×10^{-3}	-3.36×10^{-5}	1.03×10^{-6}
T5	24300	8660	2530	1.89×10^{-3}	1.31×10^{-4}	3.74×10^{-7}
T6	24600	8800	2750	1.56×10^{-3}	1.81×10^{-4}	1.94×10^{-7}
T7	16600	5800	2150	4.33×10^{-4}	3.82×10^{-4}	-6.03×10^{-7}
T8	18800	6500	2480	9.19×10^{-5}	4.32×10^{-4}	-7.88×10^{-7}
T9	16200	6700	2630	8.05×10^{-4}	2.96×10^{-4}	-9.03×10^{-8}
T10	27200	10610	3580	1.55×10^{-3}	1.68×10^{-4}	3.09×10^{-7}
T11	27900	9470	2940	1.35×10^{-3}	2.17×10^{-4}	2.22×10^{-8}
T12	20600	8300	2700	2.03×10^{-3}	9.61×10^{-5}	6.27×10^{-7}
T13	19900	9730	3360	3.59×10^{-3}	-1.88×10^{-4}	1.92×10^{-6}
T14	19900	8180	2810	1.82×10^{-3}	1.26×10^{-4}	5.41×10^{-7}
T15	22000	9920	3320	2.82×10^{-3}	-4.94×10^{-5}	1.27×10^{-6}
T16	23800	10040	3290	2.33×10^{-3}	3.80×10^{-5}	8.64×10^{-7}
T17	24500	9580	2320	3.07×10^{-3}	-6.65×10^{-5}	1.16×10^{-6}
T18	26200	9670	3030	1.70×10^{-3}	1.55×10^{-4}	3.11×10^{-7}

Los parámetros físicos del suelo por niveles o profundidades se cuantifican en la Tabla 2, luego de ser procesadas las muestras en laboratorio se hicieron los respectivos cálculos de acuerdo a Lowery et al., (1996) y Unsihuay (2002), estos mismos valores se utilizaron para cálculos posteriores en la capacidad calorífica del suelo (C). Los valores por el perfil vertical de la calicata fueron: Da de 1.24 g cm^{-3} , Gw de 33.92% y PMP de 19.08%.

Tabla 2. Propiedades físicas del suelo para las tres profundidades de muestreo de la calicata, la densidad aparente (Da) expresada en g cm^{-3} , la humedad gravimétrica (Gw) y el punto de marchitez permanente (PMP) se expresan el porcentaje (%) y el calor específico del suelo seco (C_{ss}) se expresa en $\text{cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Profundidad (cm)	Da (g cm^{-3})	Gw (%)	PMP (%)	C_{ss} ($\text{cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
0	1.27	36.78	22.22	0.11
10	1.26	40.12	24.69	0.17
30	1.24	42.06	26.12	0.15

La geotemperatura en la capa superficial (0cm) aumentó gradualmente desde las horas de la mañana hasta que alcanzó valores máximos a las 15H00, este comportamiento fue muy similar en todos los mulch, luego la geotemperatura fue disminuyendo paulatinamente a excepción del mulch orgánico (Figura 1), los resultados concuerdan con Ashrafuzzaman et al., (2011) que trabajaron exclusivamente con mulch plástico. Los valores más bajos de geotemperaturas se registraron en el mulch verde, valores que se contraponen a lo reportado por Mendonça et al., (2021), que menciona un incremento de 2°C a las 7H00 y la disminución de 3°C en un mulch de tamo de arroz; mientras que en esta investigación los mulch orgánicos presentaron una tendencia de superar al control.

Es necesario destacar que las mediciones se realizó entre el periodo de julio-agosto, que de acuerdo a la estacionalidad de la climatología de la zona se caracteriza por la ausencia de lluvias (Luna-Romero et al., 2018), por consiguiente, bajas temperaturas; que incluso el tratamiento sin mulch (suelo desnudo) tiene una temperatura promedio por debajo de los 25°C .

Para la profundidad de 10 cm, las geotemperaturas más bajas se registraron en el tratamiento sin mulch; los valores más altos alcanzaron el mulch plástico rojo (Figura 2), este color se caracteriza por una mayor densidad de flujo fotones e irradiación (You et al., 2021), motivo por el cual tuvo valores bajos de geotemperaturas en la capa superficial, pero levemente superiores al mulch verde; sin embargo, en el tratamiento de mulch rojo ha logrado transferir mayor energía que conlleva a geotemperaturas más altas. Por tanto, el régimen térmico del suelo depende del flujo de calor hacia el suelo, condicionado por las propiedades térmicas del suelo (Pramanik et al., 2015).

La Figura 3 presenta el resultado del análisis estadístico para la capa superficial (0 cm), para las 7H00 (Figura 3a) las geotemperaturas más altas se registró en el aserrín (T7) y el tamo de arroz (T5), 24.1°C y 23.7°C, respectivamente, incrementando la temperatura en aproximadamente entre 0.9°C a 1.3°C en relación al suelo desnudo (22.7°C); la geotemperatura más baja se registró en mulch plástico verde con 8.9°C por debajo del control. A las 14H00, el control y el mulch de aserrín presentaron valores estadísticamente similares, 26°C y 25.5°C, respectivamente, el mulch de color verde evidenció una disminución de 10.8°C con respecto al control (Figura 3b), estos resultados confronta de los resultados de Mendonça et al., (2021). Se debe destacar que las geotemperaturas bajo el mulch dependen de las propiedades ópticas (reflectividad, absorción o transmisión) de los materiales y de la radiación solar incidente (Pramanik et al., 2015).

La geotemperatura para las 19H00, también muestra al mulch de aserrín como el mejor tratamiento desde el enfoque de elevar la temperatura; sin embargo, difiere levemente del control con 0.7°C, el mulch plástico verde nuevamente se mostró el valor más bajo con 9.8°C con relación al suelo desnudo, Zangoueinejad & Alebrahim, (2021), también presentaron buenos resultados con el mulch de aserrín, que incluso lo utilizaron en combinación otros materiales orgánicos con un enfoque de innovar alternativas frente al mulch plástico negro, que es el más usado en el sector agrícola (Lalitha et al., 2010; Pramanik et al., 2015); sin embargo, Zangoueinejad & Alebrahim utilizaron con fines de supresión de la maleza.

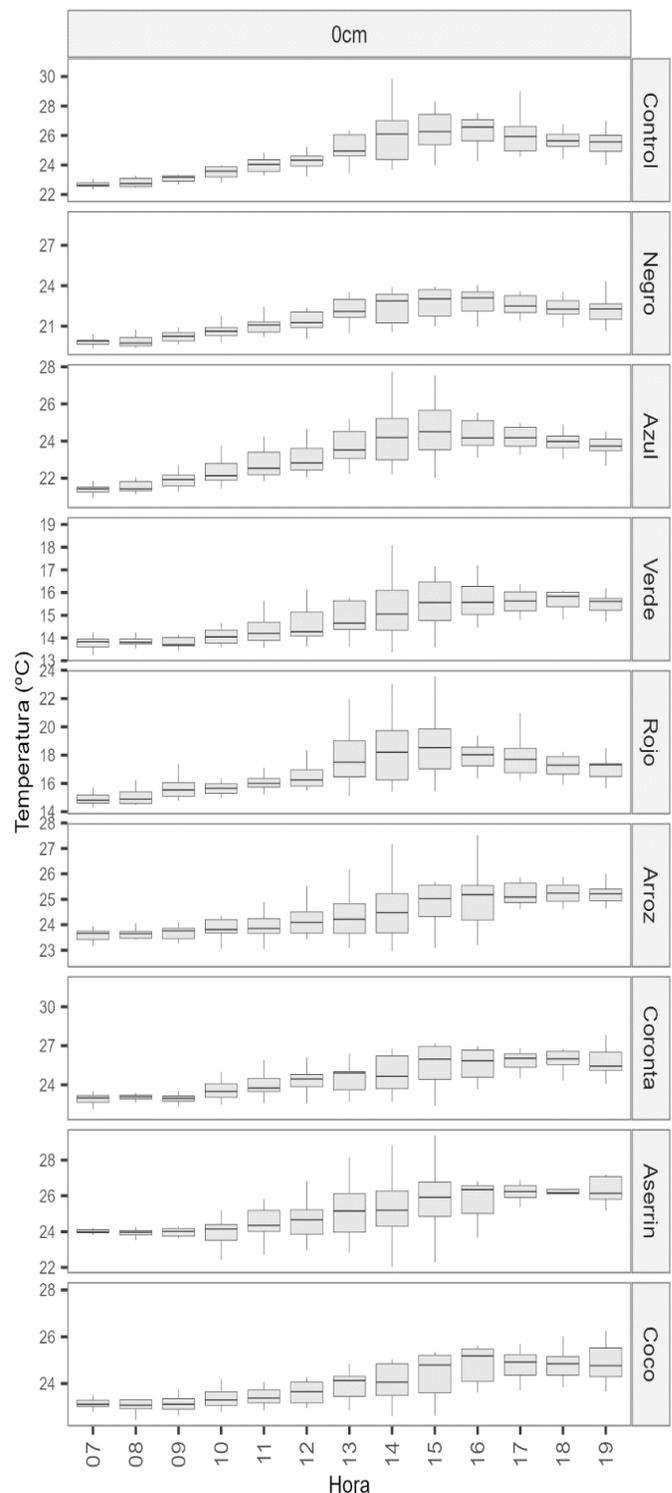


Figura 1. Geotemperaturas medidas a 0cm de profundidad para el mulch plástico y orgánico, desde las 7H00 hasta las 19H00, para el periodo de julio-agosto de 2022

Está bien documentado que el mulch plástico negro se caracteriza por absorber y transmitir más radiación de onda corta, por consiguiente, resulta en aumento de la temperatura del perfil del suelo (Mendonça et al., 2021), sin embargo, no se evidenció resultados favorables. Si

bien el mulch plástico negro y azul, no presentaron los valores más altos de temperatura, vale destacar que registraron el mismo comportamiento descrito por Asadul et al., (2018), el mulch azul tuvo temperaturas más altas que el color negro, tal como se muestra en la Figura 3 de la capa superficial para los tres escenarios de las 7H00, 14H00 y 19H00.

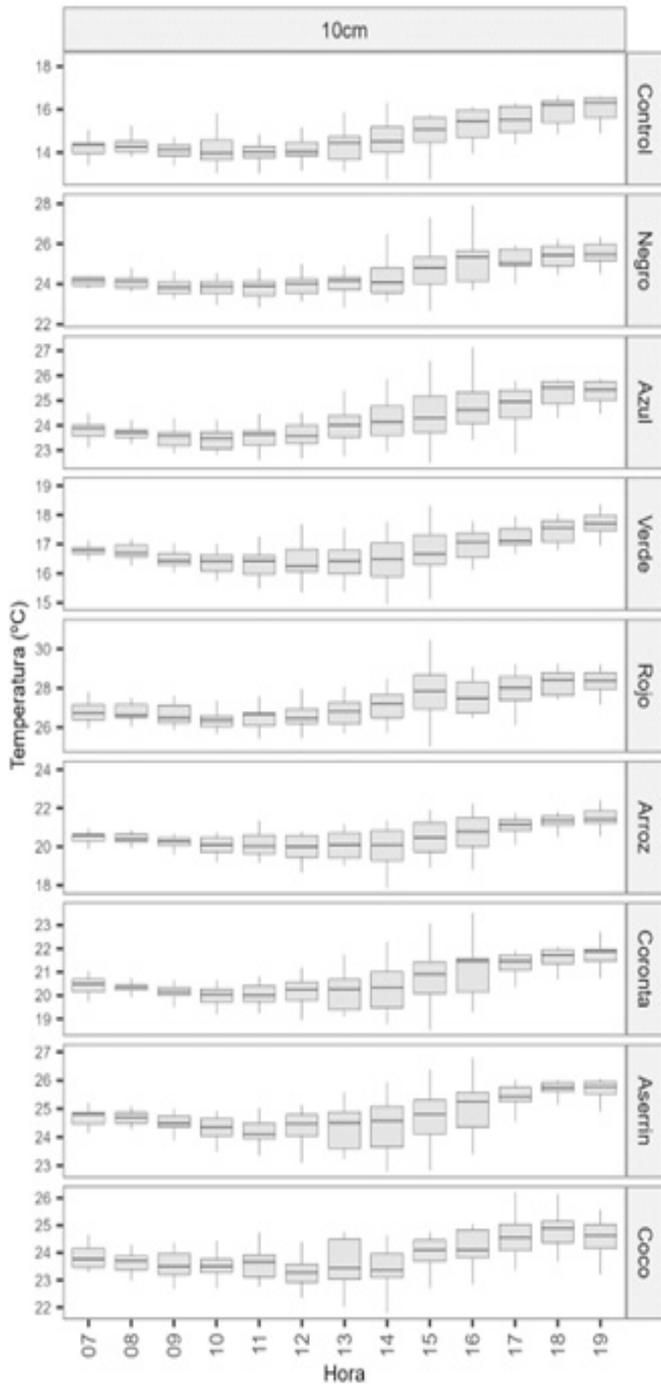


Figura 2. Geotemperaturas medidas a 10cm de profundidad para el mulch plástico y orgánico, desde las 7H00 hasta las 19H00, para el periodo de julio-agosto de 2022

En la profundidad de 10 cm el tratamiento de mulch plástico rojo, presentó los valores más altos a las 7H00 (26.9°C), 14H00 (27.2°C) y 19H00 (28.72°C), incrementando la temperatura entre 12.4°C a 12.7°C con relación al suelo desnudo (Figura 4), los resultados con respecto a este color son prometedores en virtud que es un color nuevo y que vienen realizando investigaciones con resultados favorables (Lalitha et al., 2010; You et al., 2021). Asimismo, el suelo sin mulch presentó los valores más bajos para las tres horas evaluadas, posiblemente la radiación que es absorbida por el suelo en la capa superficial y transferida a través del perfil, se pierde rápidamente por emisión de la radiación térmica. Los tratamientos de mulch plástico negro y azul, mulch de aserrín presentaron geotemperaturas que se colocaron por debajo del mulch de color rojo; mientras el plástico verde presentó los valores más bajos de temperatura, sin considerar el control que ya se mencionó que fue el más bajo.

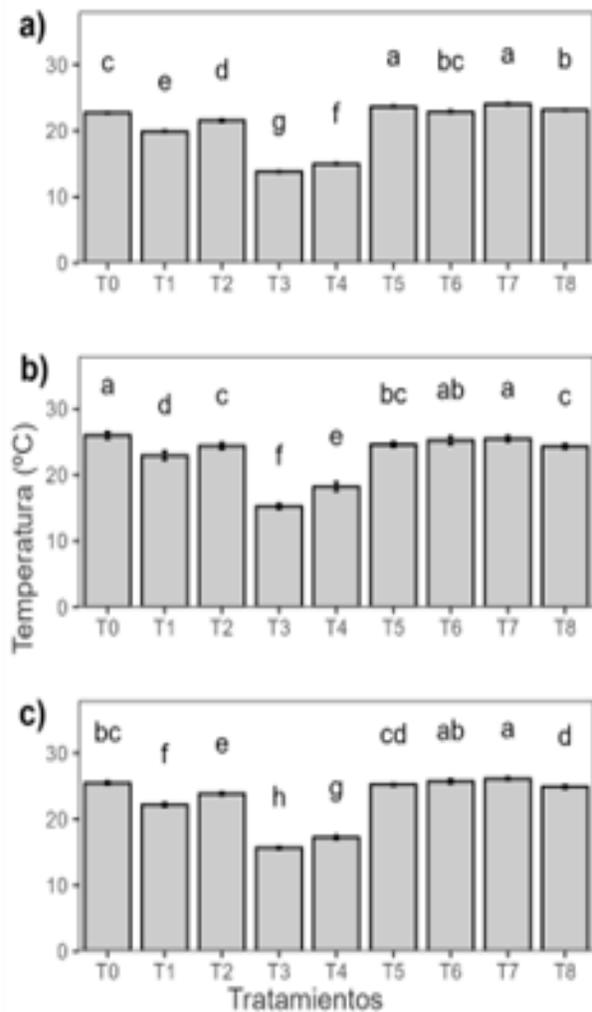


Figura 3. Geotemperaturas en la profundidad de 0 cm medidas a las 7H00 (a), 14H00 (b) y 19H00 (c); para suelo sin mulch (T0), negro (T1), azul (T2), verde (T3), rojo (T4), tamo de arroz (T5), coronata (T6), aserrín (T7), coco (T8), la misma letra en los tratamientos denota diferencia no significativa por la prueba de Tukey (p<0.05)

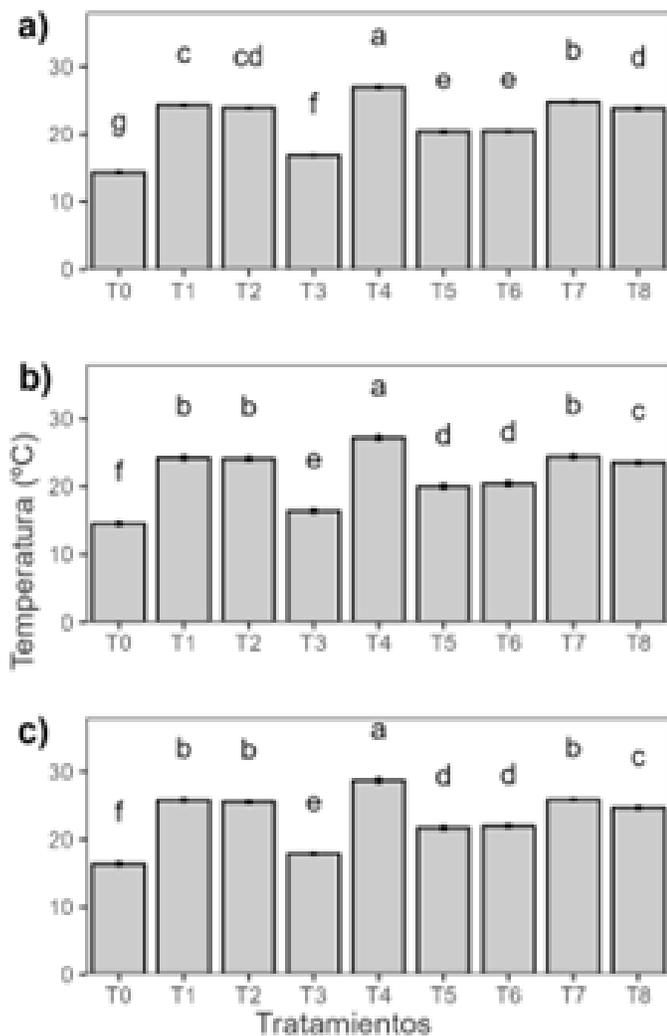


Figura 4. Geotemperaturas en la profundidad de 10 cm medidas a las 7H00 (a), 14H00 (b) y 19H00 (c); para suelo sin mulch (T0), negro (T1), azul (T2), verde (T3), rojo (T4), tamo de arroz (T5), coronta (T6), aserrín (T7), coco (T8), la misma letra en los tratamientos denota diferencia no significativa por la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Con los parámetros físicos del suelo se estimó tanto la capacidad calorífica del suelo como el flujo neto de calor para la capa comprendida entre 0 y 10cm (Figura 5), previamente se promedió las geotemperaturas de cada tratamiento; los valores por encima de cero indica ganancia de energía y valores por debajo de cero representa pérdida de energía. En la gráfica se puede observar la línea de color gris que representa al tratamiento control y su comportamiento errático de subir y bajar a través del día, es decir la energía que absorbe la pierde rápidamente; comportamiento similar registró el mulch de coco.

Por otro lado, el mulch plástico gradualmente adquiere una ganancia de energía, donde alcanzaron su pico máximo a las 13H00 e inicia la pérdida de energía por

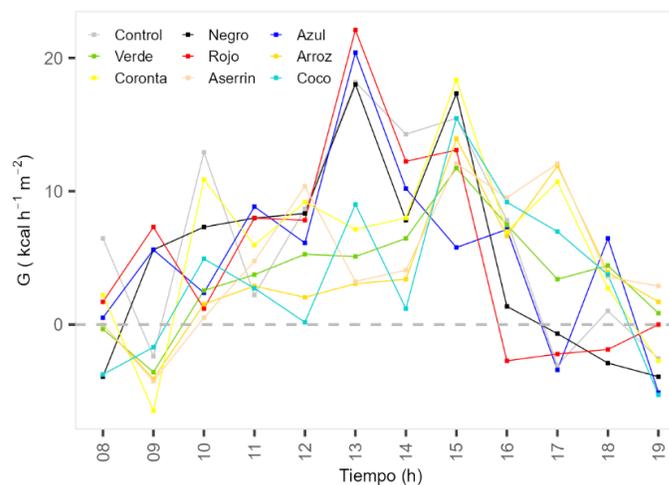


Figura 5. Flujo neto de calor en el suelo en la capa entre 0 y 10 cm para los tratamientos; Control (T0, línea gris), mulch de colores: Negro (T1), Azul (T2), Verde (T3), Rojo (T4), Tamo de arroz (T5, línea dorada), Coronta (T6, línea amarilla), Aserrín (T7, línea naranja) y Coco (T8, línea celeste); estimado desde 8H00 hasta las 19H00 en intervalo de tiempo de una hora, para el periodo de julio-agosto 2022

CONCLUSIONES

El mulch cumple la función de cambiar el régimen térmico del suelo, es decir, modificación del microclima, las geotemperaturas en el perfil del suelo varían en función de las propiedades ópticas del mulch, de las propiedades térmicas del suelo y de la radiación incidente. En función de las geotemperaturas el mulch de aserrín y plástico rojo presentaron resultados favorables; mientras tanto con enfoque al flujo neto de energía del suelo los mulch plástico rojo, azul y negro son una opción con fines de ganar energía y los mulch orgánicos son otra opción cuando se requiera minimizar la ganancia de energía, es decir minimizar las geotemperaturas. Es necesario replicar la investigación para otro periodo del año, como por ejemplo en época de mayor radiación incidente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asadul, M., Jahiruddin, M., & Clarke, D. (2018). Effect of plastic mulch on crop yield and land degradation in south coastal saline soils of Bangladesh. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(4), 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.07.001>
- Ashrafuzzaman, M., Halim, M. A., Ismail, M. R., & Shahidullah, S. M. (2011). Effect of Plastic Mulch on Growth and Yield of Chilli (*Capsicum annum* L.). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(2), 321–330.
- Brassoulis, D., & Giannoulis, A. (2018). Evaluation of the functionality of bio-based plastic mulching films. *Polymer Testing*, 67, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2018.02.019>

- Colak, Y. B. (2021). Leaf water potential for surface and subsurface drip irrigated bell pepper under various deficit irrigation strategies. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 81(4), 491–506. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000400491>
- Lalitha, M., Kasthuri, V., Balakrishnan, N., & Monsour, M. (2010). Effect of plastic mulch on soil properties and crop growth - A review. *Agricultural Research Communication Centre*, 31(2), 145–149.
- Lowery, B., Hickey, W., Arshad, M., & Lai, R. (1996). Soil Water Parameters and Soil Quality. In J. Doran & J. A. (Eds.), *Methods for assessing soil quality* (pp. 143–155).
- Luna-Romero, A., Ramírez, I., Sánchez, C., Conde, J., Agurto, L., & Villaseñor, D. (2018). Distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Jubones, Ecuador: 1975-2013. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 63–70. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.07>
- Mendonça, S., Ribeiro, M., Gomes, R., Evangelista, Z., de Carvalho, N., & Nascimento, A. (2021). The effect of different mulching on tomato development and yield. *Scientia Horticulturae*, 275, 109657.
- Ng, E., Huerta, E., Eldridge, S. M., Johnston, P., Hu, H., Geissen, V., & Chen, D. (2018). An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 627, 1377–1388.
- Pal, K., Rana, S., Kumar, V., Dagar, A. K., Chandel, A., & Kataria, A. (2018). FPGA Implementation of Steinhart-Hart Equation for Accurate Thermistor Linearization. *IEEE Sensors Journal*, 18(6), 2260–2267. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2795098>
- Pramanik, P., Bandyopadhyay, K., Bhaduri, D., Bhattacharyya, R., & Aggarwal, P. (2015). Effect of mulch on soil thermal regimes - A review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 8(3), 645–658.
- Ruck, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*.
- Sarkar, A. R., Dey, D., & Munshi, S. (2013). Linearization of NTC Thermistor Characteristic Using Op-Amp Based Inverting Amplifier. *IEEE Sensors Journal*, 13(12), 4621–4626.
- Silva, A., Ponce de León, J., García, F., & Duran, A. (1988). Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. *Boletín de Investigación*, 10, 21.
- Steinhart, J., & Hart, S. (1968). Calibration curves for thermistors. *Deep Sea Research*, 15, 497–503.
- Unsihuay, F. (2002). Evaluación del efecto de la disminución de la radiación absorbida en la temperatura del suleo y flujo de calor en el suelo. In *Anales científicos* (pp. 87–100).
- You, S., Liu, H., Li, Z., Zhou, Y., Zhou, H., Zheng, W., Gao, Y., Li, J., & Zhang, X. (2021). Soil environment and spectra properties coregulate tomato growth, fruit quality, and yield in different colored biodegradable paper mulching during the summer season. *Scientia Horticulturae Journal*, 275, 109632.
- Zangoueinejad, R., & Alebrahim, M. T. (2021). Use of conventional and innovative organic materials as alternatives to black plastic mulch to suppress weeds in tomato production. *Biological Agriculture & Horticulture*, 37(4), 267–284. <https://doi.org/10.1080/01448765.2021.1947377>
- Zhang, X., You, S., Tian, Y., & Li, J. (2019). Comparison of plastic film, biodegradable paper and bio-based film mulching for summer tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality. *Scientia Horticulturae Journal*, 249(489), 38–48.