



Geotemperatura, flujo neto de calor del suelo y variables morfológicas del cultivo de soya (*Glycine max* L.) bajo condiciones de mulch plástico

Geotemperature, net heat flow from the soil and morphological variables of the soybean crop (*Glycine max* L.) under plastic mulch conditions

Nicole Quezada-Quezada^{1,2,*}; Washington Vega-Mora^{1,2}; Edwin Jaramillo-Aguilar¹; Salomón Barrezueta-Unda¹; Ángel Luna-Romero¹

1 Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Granja Experimental Santa Inés, Av. Panamericana km 5 ½ Pasaje. Machala, El Oro, Ecuador.

2 Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT). Ecuador.

* Autor correspondiente: lquezada3@utmachala.edu.ec (N. Quezada-Quezada).


ID ORCID de los autores

N. Quezada-Quezada:  <https://orcid.org/0000-0001-5361-9999>

W. Vega-Mora:  <https://orcid.org/0000-0001-9193-2716>

E. Jaramillo-Aguilar:  <https://orcid.org/0000-0002-8241-9598>

S. Barrezueta-Unda:  <https://orcid.org/0000-0001-9193-2716>

A. Luna-Romero:  <https://orcid.org/0000-0002-8306-9470>

RESUMEN

La mayoría de los cultivos son afectados por diversos factores, el mulch plástico surge como una alternativa, generando un impacto positivo sobre la temperatura en la zona radicular, la vida microbiana y las propiedades físicas del suelo asociado a mejorar el rendimiento de los cultivos. El objetivo de la investigación fue evaluar el rendimiento del cultivo de soya (*Glycine max* L.) bajo condiciones de mulch plástico. Se analizaron parámetros de geotemperatura, flujo neto de calor del suelo y variables morfológicas. Se utilizó el diseño completamente al azar, el factor de estudio fue el mulch plástico de diferentes colores: negro (T1), rojo (T2), azul (T3), y verde (T4) y el control (T0, suelo desnudo). Los resultados mostraron que el mulch plástico influye en la temperatura del suelo hasta 6 °C respecto al suelo desnudo (T4) y en el flujo neto de calor, guardan relevancia los colores negro y verde, al igual que en las variables morfológicas, siendo los tratamientos T3 y T4, los que mejores resultados tuvieron frente al suelo desnudo, mejorando el rendimiento del cultivo hasta en 2 t ha⁻¹. El mulch plástico azul y verde es una opción viable para mejorar la productividad de la soya y sus rendimientos económicos.

Palabras clave: acolchado; soya; geotemperatura; rendimiento; microclima.

ABSTRACT

Most crops are affected by various factors, plastic mulch emerges as an alternative, causing a positive impact on the temperature in the root zone, microbial life and the physical properties of the soil associated with the improvement of crop yield. The objective of the research was to evaluate the yield of the soybean crop (*Glycine max* L.) under plastic mulch conditions. Geotemperature parameters, net heat flow from the soil and morphological variables were analyzed. The completely randomized design was used, the study factor was plastic mulch of different colors: black (T1), red (T2), blue (T3), and green (T4) and the control (T0, bare ground). The results showed that the plastic mulch influences the soil temperature up to 6 °C with respect to the bare soil (T4) and the net heat flux, the black and green colors are relevant, as well as the morphological variables, being the treatments T3 and T4, the ones that had the best results compared to bare soil, improving crop yield up to 2 t ha⁻¹. Blue and green plastic mulch is a viable option to improve soybean productivity and economic performance.

Keywords: mulch; soybean; geotemperatures; yield; microclimate.

Recibido: 04-02-2023.

Aceptado: 25-03-2023



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Las bajas temperaturas en la zona radicular, las altas tasas de evaporación y la insuficiencia de precipitaciones son factores que afectan directa e indirectamente la forma de producción de la mayoría de los cultivos en una región. El acolchado (mulch) es una técnica muy antigua que se ha utilizado para mejorar la salud del suelo y de los cultivos, consiste en colocar materiales como paja, aserrín, capotillo de arroz o plásticos de colores. Al uso de plástico o se le atribuye su impacto positivo sobre la temperatura en la zona radicular, la vida microbiana y las propiedades físicas del suelo (Amare & Desta, 2021).

Los países en vías de desarrollo, la producción agrícola de diferentes tipos de leguminosas con mulch ha aumentado debido a su alta rentabilidad en el control de insectos, enfermedades y malezas. A pesar de que existen pocos informes sobre el uso de cubiertas plásticas en soya, son muchos los estudios que han demostrado la eficiencia del mulch plástico asociado a mejorar el rendimiento de los cultivos. Por ejemplo, el uso del mulch plástico aumentó el rendimiento del cultivo de trigo en un 10–15% (Ali et al., 2018), en papa un 24% (Li et al., 2018) y en maíz según Montemayor et al. (2018) un 25%, mientras Li et al. (2023) indicaron que puede mejorar el rendimiento del grano entre un 10,0 y un 16,7 %. Así mismo, se registró en el cultivo de camote en los años 2018, 2019 y 2020, un incremento del rendimiento

promedio de los 3 años del 39% (Rao et al., 2023). Por tanto, la técnica del mulch ha contribuido en gran medida al aumento de la productividad agrícola.

Los mulchs plásticos de colores como: blanco, azul y amarillo tienen baja reflectancia UV a diferencia de los colores rojos, verdes, negros que son de alta reflectancia UV (Chen et al., 2022). Sin embargo, a modo de ejemplo se ha observado que los mulchs de plástico negro y plomo, en combinación con riego por goteo mejoran el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la mayoría de las leguminosas de grano (Kader et al., 2020). En el caso del mulch negro es eficaz para controlar las malas hierbas, pero suele ser menos eficaz para calentar el suelo (Sintim et al., 2020).

En Ecuador, el cultivo de soya (*Glycine max* L.) es de gran importancia económica. FAO (2020) indica que Ecuador produce 27,238 t ha⁻¹ de grano seco, es decir, 0,008% de la producción mundial y posee un área cosechada de 19682 ha, dedicado especialmente a la elaboración de aceites vegetales y concentrados para animales (Soto et al., 2021). Ante la poca disponibilidad de investigaciones relacionadas a la aplicación del mulch plástico en el cultivo de soya, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el rendimiento del cultivo de soya (*Glycine max* L.) bajo condiciones de mulch plástico, Ecuador.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zona de estudio

El experimento se desarrolló en la Granja experimental Santa Inés en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, ubicada en las coordenadas geográficas 3°15'52.29" S, 79°57'4.3" W, en el cantón Machala, provincia El Oro, Ecuador, ubicado a 6 m.s.n.m., el clima de la región es AW (tropical subhúmedo, según la clasificación de Köppen-Geiger). Los suelos de estas zonas son de formación aluvial y del orden inceptisol, según la clasificación taxonómica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), adoptada en Ecuador (Villaseñor et al., 2022). La temperatura media anual de la zona de estudio es de 26 °C y la humedad relativa tiende a superar el 75% (Villaseñor et al., 2020). La investigación fue realizada en suelo con textura franco-arcillosa, de pH ligeramente ácido (6,6), con 5,9% de materia orgánica.

Diseño experimental

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), el factor de estudio fue el mulch plástico con cinco tratamientos, que consisten en el color del mulch: negro (T1), rojo (T2), azul (T3), y verde (T4) y un tratamiento control (T0), es decir, práctica convencional sin cobertura; con tres repeticiones generándose un total de 15 unidades experimentales (UE). Las capas plásticas de polietileno se establecieron al azar en cada UE, la UE fue de 5 m x

1 m (5 m²). Se hicieron agujeros sobre las cubiertas en donde se ubicó las plantas, las cuáles, se sembraron de forma directa el 13 de agosto de 2022, a tres bolillos con 0,30 m entre planta y 1 metro entre surco. Finalmente se establecieron 18 plantas por cada UE obteniéndose un total de 270 plantas dentro del área experimental.

Calibración de termistores

Antes de realizar las lecturas de temperatura en el suelo de los diferentes tratamientos se realizó la calibración de los termistores NTC (Negative temperature coefficient) de 10 000 Ω, que consistió en sumergir cada termistor en agua a las temperaturas de 5, 25 y 50 °C; registrar los valores de resistencia con el uso de un multímetro. Mediante los valores adquiridos se calcularon los coeficientes de Steinhart & Hart (1968) con la siguiente ecuación:

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

Donde T^{-1} representa la temperatura (kelvin); A, B y C son constantes de Steinhart-Hart, y R representa el valor de la resistencia medida en el termistor (Ω). Se utilizó la Thermistor Calculator V1.1 desarrollada por Stanford Research Systems Inc (SRS, 2012), disponible en www.thinksrs.com/downloads/programs/therm%20calc/ntccalibrator/ntccalculator.html. Se estableció la ecuación de cada termistor que funcionó como un sensor de temperatura.

Manejo del experimento

El suelo se roturó mediante un motocultor, luego se formaron las UE y se aplicó hongos benéficos del género *Trichoderma* sp. Se colocó los mulchs plásticos de polietileno en las UE y se perforó para ubicar las semillas (SOYA I-307 Bio-activada) y los emisores del riego. Para el riego se implementó laterales de 20 mm de diámetro, con goteros ajustables (0 a 40 L h⁻¹) a 0,45 m de separación y se estableció la misma frecuencia de riego para todos los tratamientos. La nutrición de las plantas se hizo por medio de la aplicación de bioestimulante vía foliar, siendo la misma dosificación (0,1 g L⁻¹) para todas las UE. Además, en la etapa R1 (inicio de la floración) a los 63 días después de la siembra (dds) se realizó la aplicación de otro bioestimulante a base de algas marinas. El control de malezas en los surcos se hizo semanalmente de forma manual. Para el control de plagas se utilizó extractos vegetales a base de ajo (*Allium sativum*), ají (*Capsicum microcarpum*) y clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), los cuales fueron aplicados cada 5 días.

Propiedades físicas y calor específico del suelo

Para evaluar las propiedades físicas del suelo, se realizó una calicata y se tomaron muestras a 4 profundidades de 0, 10, 20, y 30 cm, se determinó parámetros como la densidad aparente (Da) y humedad gravimétrica (Gw), mediante las ecuaciones establecidas por Lowery et al. (1996). En cuanto al punto de marchitez permanente (PMP) se calculó mediante la ecuación planteada por Silva et al. (1988) donde se usa valores de Gw a capacidad de campo (ecuación 2). Para el cálculo del calor específico del suelo se empleó el método de Unsuhay (2002), primero se calibraron 4 calorímetros, en los cuáles se colocaron 100 gramos de suelo seco correspondientes a cada horizonte, a quienes por medio de un termómetro de mercurio se cuantificó los valores de temperatura inicial y la temperatura de equilibrio.

$$PMP = G_w \times 0,74 - 5 \quad (2)$$

Temperatura del suelo

Se instaló los termistores NTC a profundidades de 0, 10, 20 y 30 cm de manera al azar en una UE por tratamiento, el registro de las resistencias fue a través de un multímetro. Las lecturas se realizaron tres días a la semana en un intervalo de una hora, a partir de las 6:00 a 19:00 durante todo el ciclo del cultivo (Batallas et al., 2022).

Flujo neto del calor del suelo

Por medio de la ecuación propuesta por Puig (1950) basado en la ley de Fourier, se calculó el

flujo neto a la profundidad de 0, 10, 20 y 30 cm del suelo.

$$Q = -K (\Delta T / \Delta X) \quad (3)$$

Donde; Q es el flujo neto de calor, K es la conductividad térmica del material y ($\Delta T / \Delta X$) es el gradiente de temperatura (Batallas et al., 2022).

Medición de variables agronómicas en el cultivo

En cada UE se tomaron diez plantas al azar para evaluar variables morfológicas como la altura de la planta, el diámetro de tallo el cuál fue tomado mediante un calibrador digital a la altura de 1,5 cm desde la superficie del suelo. El índice foliar (IAF) se evaluó en 3 hojas para tres etapas del cultivo, la etapa V3 (29 dds), R1 (63 dds) y R5 (89 dds), estas hojas se llevaron a papel milimétrico y con un dispositivo móvil se fotografió, y, se realizó el cálculo del área mediante el software ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/download.html>) Para determinar el IAF se usó la ecuación planteada por Reis et al. (2013).

$$IAF = (AF \times NP) / AT \quad (4)$$

Donde; AF es el área foliar media de diez plantas, NP es el número de plantas por m² y AT se define como el área total considerada.

El contenido de clorofila (CLF) se estimó en la tercera hoja sana con un medidor portátil SPAD-502 (Soil Plant Analytical Development), estas mediciones se realizaron para las mismas etapas antes mencionadas. La biomasa se calculó de tres plantas por repetición de tratamiento, para ello se pesaron las muestras en húmedo y se puso a la estufa por 24 horas, para luego de ello ser pesados en seco. Los pesos de la raíz se tomaron en cuenta en dos momentos con raíces frescas y raíces secas para establecer las diferencias entre biomasa. Además, se evaluó el número de vainas por plantas, el peso de los granos, y finalmente el rendimiento que se obtuvo al cosechar las semillas de soya por planta de cada tratamiento (Kader et al., 2020).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a un ANOVA de un factor intergrupos utilizando el software IBM SPSS versión 21.0 con el fin de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos del factor de estudio con respecto a un tratamiento control. Se utilizó la prueba de Duncan ($p < 0,05$) para las comparaciones múltiples. El comportamiento de temperatura y flujo de calor del suelo se representó con gráficos realizados con el software R Versión 4.2.1., por último, para la representación de los resultados de variables morfológicas se usaron tablas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas y calor específico del suelo

En la Tabla 1 se cuantifica las propiedades físicas del suelo evaluadas en las diferentes profundidades, valores que se consideraron para el posterior cálculo de flujo neto de calor.

Los valores promedio del perfil del suelo fueron: Da de 1,36 g cm⁻³, Gw de 31,48%, PMP de 18,29 % y C_{ss} de 0,09 cal g⁻¹ °C⁻¹.

Tabla 1

Propiedades físicas del suelo. Densidad aparente (Da); Humedad gravimétrica (Gw); calor específico de suelo seco (Css); y punto de marchitez permanente (PMP); medida a 0, 10, 20 y 30 cm de profundidad

Nivel (cm)	Da (g cm ⁻³)	Gw (%)	Css (cal g ⁻¹ °C ⁻¹)	PMP (%)
0	1,37	30,02	0,08	17,21
10	1,35	32,38	0,02	18,96
20	1,37	31,79	0,13	18,52
30	1,35	31,72	0,14	18,47

Análisis exploratorio y estadístico de la temperatura de suelo

De acuerdo con el análisis exploratorio de datos, se descartó valores atípicos, los valores de geotemperatura en la profundidad de 0 cm, el T3 y T4 registró los valores más altos (por arriba de los 25 °C); mientras el T0 y T2 presentan los valores más bajos (por debajo de los 20 °C); además, se observó que las temperaturas descienden desde las 15:00 (Figura 1). Por otro lado, en la profundidad de 10 cm los T4 y T1 registraron los valores más altos y el tratamiento sin cobertura mantuvo el comportamiento de las temperaturas más bajas con respecto a los demás tratamientos. Este mismo comportamiento se observó en la investigación realizada por Batallas et al. (2022).

Para la temperatura del suelo se estableció analizarlo en los horarios de 8:00, 12:00 y 16:00 (Batallas et al., 2022), donde los valores promedios fueron redactados en este orden. La temperatura de suelo presentó diferencias significativas (p < 0,05) en las 4 profundidades evaluadas. A los 0 cm, los tratamientos que presentaron mayor temperatura fueron el T4 (verde) con 23,74; 25,51 y

26,30 °C; seguido del T3 (azul) con 24,05; 25,09 y 25,59 °C; mientras el tratamiento control (T0) registró los valores más bajos 17,82; 19,41 y 20,26 °C.

En la profundidad de 10 cm, la mayor temperatura se registró en T4 con 22,54; 23,76 y 25,14 °C; seguido del T1 (negro) con 21,96; 23,38 y 24,48 °C; por otro lado, el T0 registró la menor temperatura 20,79; y 22,28 °C a las 8:00 y 16:00, a diferencia de la temperatura registrada a las 12 en donde el menor valor de temperatura se registró en el T3 con 21,58 °C (Tabla 2). Mendonça et al. (2021) en su investigación encontraron que a los 5 y 10 cm de profundidad la temperatura de suelo fue mayor en los tratamientos con cobertura plástica color verde, respecto al suelo desnudo.

A los 20 cm de profundidad, la mayor temperatura fue en el T4 con 24,17; 24,26 y 24,54 °C. Contrario a esto, el T1 fue el tratamiento con menor temperatura con 18,60; 19,45 y 20,58 °C. Por último, a los 30 cm de profundidad, el tratamiento con mayor temperatura fue el T3 con 22,21; 22,76 y 23,54 °C; mientras que, el T2 (rojo) fue el tratamiento que menor temperatura registró 16,37; 16,39 y 16,86 °C (Tabla 2). En estas dos últimas profundidades, el tratamiento control registró valores de temperatura más altos colocándose por encima de los tratamientos T1 y T2, lo que coincidió con los resultados obtenidos por Kader et al. (2017b), donde expresaron que las coberturas plásticas actúan como una zona de amortiguamiento entre la atmósfera y la superficie del suelo, por lo tanto, la geotemperatura en el suelo desnudo es mayor a la de los suelos con coberturas plásticas.

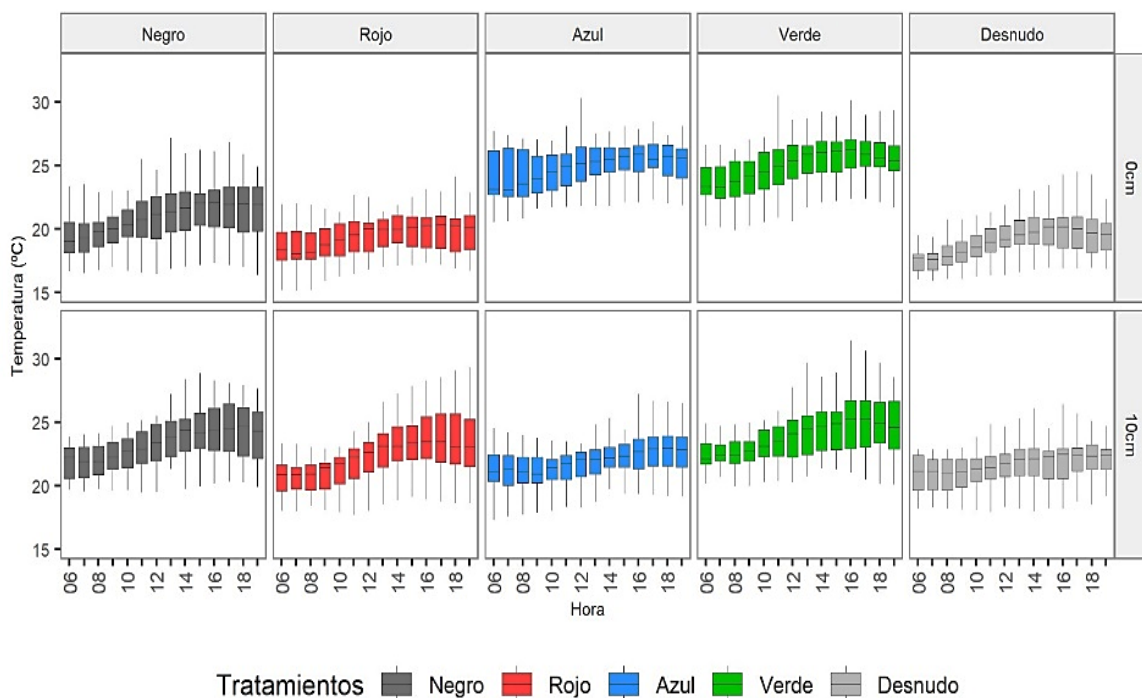


Figura 1. Comportamiento de la temperatura del suelo para los tratamientos de mulch Negro (T1), Rojo (T2), Azul (T3), Verde (T4) y suelo desnudo (T0) en las profundidades de 0 y 10 cm, durante todo el ciclo de cultivo a partir de las 6:00 a 19:00 horas.

Tabla 2

Análisis estadístico de la temperatura media del suelo, desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV) para los tratamientos (Tt): suelo desnudo (T0), negro (T1), rojo (T2), azul (T3) y verde (T4) a 0, 10, 20 y 30 cm de profundidad (Prf) durante el período experimental

Prf (cm)	Tt	Temperatura del suelo								
		8:00			12:00			16:00		
		Media	DS	CV (%)	Media	DS	CV (%)	Media	DS	CV (%)
0	T0	17,82 ^d	1,04	5,85	19,41 ^c	1,65	8,50	20,26 ^c	2,19	10,82
	T1	19,85 ^b	1,92	9,70	21,08 ^b	2,15	10,19	21,73 ^b	2,36	10,88
	T2	18,75 ^c	1,66	8,86	19,64 ^c	1,71	8,69	20,35 ^c	2,39	11,72
	T3	24,05 ^a	1,88	7,84	25,09 ^a	1,82	7,23	25,59 ^a	1,86	7,33
	T4	23,74 ^a	1,56	6,56	25,51 ^a	2,07	8,12	26,30 ^a	2,31	8,77
10	T0	20,79 ^b	1,40	6,74	21,53 ^b	1,76	8,17	22,28 ^d	2,10	9,43
	T1	21,96 ^a	1,34	6,11	23,38 ^a	1,57	6,72	24,48 ^{ab}	2,18	8,94
	T2	20,76 ^b	1,26	6,05	22,14 ^b	1,51	6,81	23,55 ^{bc}	2,35	9,97
	T3	21,19 ^b	1,64	7,74	21,58 ^b	1,35	6,25	22,79 ^{cd}	1,77	7,74
	T4	22,54 ^a	1,14	5,04	23,76 ^a	1,83	7,72	25,14 ^a	2,61	10,39
20	T0	21,90 ^b	1,15	5,26	22,14 ^b	1,08	4,87	22,90 ^b	1,32	5,77
	T1	18,60 ^d	1,74	9,38	19,47 ^d	1,36	6,99	20,58 ^d	1,83	8,91
	T2	19,98 ^c	1,87	9,35	20,54 ^c	1,85	8,99	21,73 ^c	2,47	11,36
	T3	22,37 ^b	1,39	6,21	22,77 ^b	1,34	5,91	23,59 ^b	1,95	8,27
	T4	24,17 ^a	1,69	6,99	24,26 ^a	1,36	5,61	24,54 ^a	1,38	5,61
30	T0	19,56 ^b	1,82	9,32	20,82 ^{bc}	2,17	10,43	21,24 ^{bc}	2,36	11,09
	T1	20,05 ^b	1,77	8,82	20,11 ^c	1,80	8,94	20,66 ^c	2,02	9,78
	T2	16,37 ^c	1,88	11,48	16,39 ^d	1,76	10,72	16,86 ^d	1,88	11,18
	T3	22,21 ^a	1,33	6,00	22,76 ^a	1,16	5,10	23,54 ^a	2,31	9,81
	T4	21,48 ^a	1,73	8,05	21,67 ^b	1,73	7,96	22,28 ^b	1,58	7,11

Las medias se calcularon a partir de datos horarios a diferentes profundidades del suelo. Dentro de cada columna las letras minúsculas indican diferencia significativa entre las medias de los tratamientos ($p < 0,05$) por la prueba de Duncan.

Flujo neto de calor del suelo

En la Figura 2 se ilustra el flujo neto de calor en las diferentes capas de suelo. En la primera capa 0–10 cm (z1 -z2) se produjo una ganancia de calor desde las 7:00 en todos los tratamientos. Por otro lado, el T4 fue el que más calor ganó superando las 10 kcal h⁻¹ m⁻². De manera general, en la capa de 0–30 cm (z1 -z4) se observó que el T0 fue el tratamiento que mayores picos de ganancia de calor registró, superando las 30 kcal h⁻¹ m⁻² y que, además, fue el primero en empezar a acumular calor (7:00), respecto a los otros tratamientos (8:00). Además, el T0 y T3 fueron los primeros tratamientos en

empezar a perder calor (16:00), en comparación al resto de tratamientos (18:00). Por otro lado, el T4 en comparación con el T0 pierde menos calor, es decir, almacena energía térmica que aún puede aprovechar el cultivo en sus procesos fisiológicos. Kader et al. (2020) mencionaron que la cantidad de calor acumulada en el suelo esta influenciada por las coberturas plásticas, específicamente por el color de estas. Esto ocurre debido a que el albedo, aislamiento y transparencia de las cubiertas plásticas de colores alteran su capacidad de reflectancia, absorción y transmisión de la radiación solar entrante.

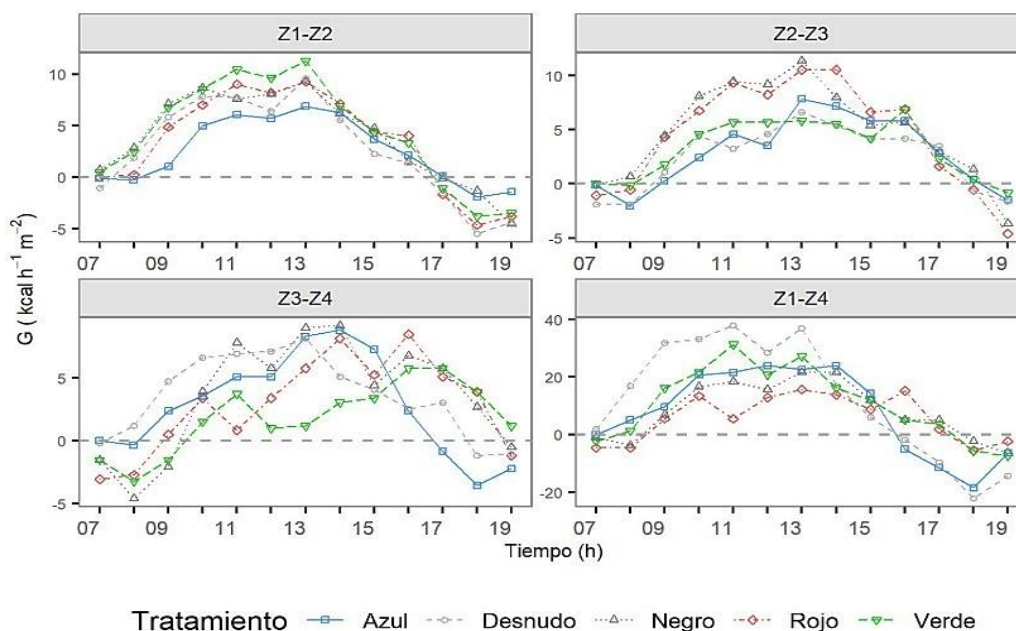


Figura 2. Comportamiento del flujo de calor del suelo determinados en todos los tratamientos a partir de 7:00 a 19:00 horas, en profundidades expresadas en capas de 0 a 10 cm (Z1-Z2); 10-20 cm (Z2-Z3); 20-30 cm (Z3-Z4); 0-30 cm (Z1-Z4).

Altura de la planta

En esta variable se pudo evidenciar que se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos, donde se obtuvo mayor altura de planta, expresada en cm, en todos los tratamientos con cobertura plástica, siendo los tratamientos T3 (112,71), T4 (111,37) y T1 (107,66) los que mayor promedio registraron durante todas las etapas evaluadas, mientras que el T0 (91,92) fue el tratamiento que menor promedio de altura de planta presentó a lo largo del experimento, pero estos valores refieren a la etapa R1 (Tabla 3). Lo obtenido concuerda con el estudio realizado por Minhas et al. (2022) en cultivo de trigo en donde se observó la mayor altura de planta en el tratamiento con cobertura plástica. De igual forma, estos resultados coincidieron con Kader et al. (2017a) quienes concluyeron que la altura de planta en el cultivo de soya es mayor en los tratamientos con coberturas plásticas frente al suelo desnudo, debido a que se produce un mayor aprovechamiento de la humedad mediante la extracción de agua de las capas más profundas del suelo.

Tabla 3

Altura de planta promedio expresada en cm, en tres etapas de crecimiento del cultivo de soya bajo efecto de los tratamientos (Tt) del mulch plástico: suelo desnudo (T0), negro (T1), rojo (T2), azul (T3) y verde (T4) y suelo desnudo (T0)

Tt	Etapas		
	V3	V5	R1
T0	17,30 ^c ±2,63	65,85 ^c ±11,61	91,92 ^c ±15,92
T1	21,21 ^a ±2,77	83,29 ^a ±7,43	107,66 ^a ±11,71
T2	18,85 ^b ±3,29	74,51 ^b ±11,12	100,07 ^b ±11,87
T3	22,03 ^a ±2,84	86,49 ^a ±5,78	112,71 ^a ±9,54
T4	22,31 ^a ±2,69	85,00 ^a ±11,34	111,37 ^a ±11,24

Las letras minúsculas dentro de cada línea indican diferencias significativas ($p < 0,05$) por la prueba de Duncan. Etapas de crecimiento: V3 (29 dds); V5 (45 dds); R1 (63dds).

Diámetro de tallo

Se hicieron nueve mediciones durante el ciclo del cultivo presentándose diferencias significativas hasta la etapa R1 (inicio de floración). Los resultados referentes a esta variable se expresan en mm y se consideró en tres etapas (V3, V5 y R1), que mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$); donde, el T3 y T4 destacaron su valor promedio para la etapa V3 y V5; sin embargo, para R1 se evidenció que los tratamientos T3 (15,22); T4 (14,82) y T1 (14,60) fueron los que mayor diámetro de tallo presentaron respecto al resto de tratamientos, donde el T0 (12,56) fue el que menor diámetro de tallo registró (Tabla 4). Estos resultados guardaron relación con lo investigado por Kader et al. (2020) en el cultivo de soya, quienes establecieron tratamientos con cobertura plástica negra, plateada y transparente frente a un tratamiento control, siendo el primero el que mayor diámetro de tallo presentó respecto a todos los tratamientos.

Tabla 4

Valores promedio de diámetro de tallo expresado en mm, durante tres etapas de crecimiento del cultivo de soya bajo efecto de los tratamientos (Tt) del mulch plástico: suelo desnudo (T0), negro (T1), rojo (T2), azul (T3) y verde (T4) y suelo desnudo (T0)

Tt	Etapas		
	V3	V5	R1
T0	3,32 ^d ±0,51	10,79 ^c ±1,83	12,56 ^b ±2,02
T1	4,01 ^b ±0,65	12,59 ^b ±1,28	14,60 ^a ±1,39
T2	3,67 ^c ±0,62	11,14 ^c ±1,57	13,16 ^b ±1,53
T3	4,41 ^a ±0,67	13,79 ^a ±1,17	15,22 ^a ±1,13
T4	4,35 ^a ±0,69	13,12 ^{ab} ±1,48	14,82 ^a ±1,61

Las letras minúsculas dentro de cada línea indican diferencias significativas ($p < 0,05$) por la prueba de Duncan. Etapas de crecimiento: V3 (29 dds); V5 (45 dds); R1 (63dds).

Índice de área foliar (IAF)

De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo evidenciar diferencias significativas ($p < 0,05$) en las tres etapas fenológicas del cultivo. En la etapa V3 el tratamiento T4 (0,054) fue el que mayor IAF registró. En la etapa R1 y R5 los tratamientos T3 (0,106 y 0,163, respectivamente), T4 (0,105 y 0,155, respectivamente) y T1 (0,103 y 0,156, respectivamente) fueron los que mejor promedio obtuvieron. Cabe recalcar que en todo el periodo de recolección de datos el T0 fue el que menor IAF presentó con valores de 0,036, 0,059 y 0,094 en las etapas V4, R1 y R5, respectivamente (Tabla 5). En su estudio, Yang et al. (2023) evidenciaron que el área foliar del cultivo de maíz fue significativamente afectada por el acolchado plástico y niveles de estrés hídrico. Según Mon & Oue, (2022) el bajo contenido de humedad en el suelo es el principal causante de la disminución en el IAF debido a que baja la producción de hojas nuevas y ocasiona una rápida senescencia de las hojas ya existentes.

Clorofila

En las tres etapas fenológicas del cultivo que se recopilaron datos de esta variable, expresados en valores SPAD, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$). En la etapa V3 el mejor resultado se evidenció en T4 (29,79); en la etapa V5 destacan los tratamientos T3 (52,06) y T4 (51,60) y finalmente, en la etapa R1 destacan los tratamientos T3 (47,74), T4 (47,06) y T1 (39,30), en las tres etapas el T0 fue el que registró menor promedio de clorofila (Tabla 5). Los resultados obtenidos fueron similares a los que obtuvieron Kader et al. (2020) en su experimento con soya, donde el uso de cobertura plástica de color negro aumentó el contenido de clorofila en las hojas, respecto al suelo desnudo. Alvarado et al. (2003) en su trabajo de investigación observaron que el mulch de color azul permite traspasar la luz, presentando una buena cantidad de reflejo lumínico que recibe la planta ayudando en su proceso fotosintético lo cual respalda los resultados obtenidos.

Tabla 5

Índice de área foliar (IAF) y contenido de clorofila (CLF) en tres etapas de crecimiento del cultivo de soya bajo efecto de los tratamientos (Tt) del mulch plástico: suelo desnudo (T0), negro (T1), rojo (T2), azul (T3) y verde (T4) y suelo desnudo (T0)

Var	Tt	Etapas		
		V3	R1	R5
IAF	T0	0,036 ^d ± 0,001	0,060 ^c ± 0,002	0,095 ^c ± 0,007
	T1	0,049 ^b ± 0,002	0,103 ^a ± 0,005	0,156 ^a ± 0,007
	T2	0,042 ^c ± 0,003	0,086 ^b ± 0,011	0,138 ^b ± 0,013
	T3	0,052 ^{ab} ± 0,002	0,106 ^a ± 0,006	0,163 ^a ± 0,006
	T4	0,054 ^a ± 0,003	0,105 ^a ± 0,005	0,155 ^a ± 0,007
CLF	T0	25,15 ^d ± 1,78	32,01 ^c ± 2,84	42,24 ^c ± 7,08
	T1	28,53 ^b ± 2,21	39,30 ^b ± 3,82	50,67 ^a ± 3,79
	T2	27,23 ^c ± 3,67	32,04 ^c ± 3,48	47,68 ^b ± 4,63
	T3	28,87 ^{ab} ± 1,22	47,74 ^a ± 5,13	52,06 ^a ± 5,20
	T4	29,79 ^a ± 1,22	47,06 ^a ± 6,32	51,60 ^a ± 4,53

Las letras minúsculas dentro de cada línea indican diferencias significativas ($p < 0,05$) por la prueba de Duncan. Etapas de crecimiento: V3 (29 dds); R1 (63 dds); R5 (89 dds).

Biomasa

Los resultados obtenidos de biomasa expresados en g (Tabla 6) evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$), tanto en fresco (F) como en seco (S), los mejores tratamientos fueron el T3 con 861,27 (F) y 256,20 (S); seguido del T4 con 858,27 (F) y 259,31 (S). Por otro lado, el T0 sin cobertura plástica presentó los valores de biomasa más bajos con 659,77 (F) y 203,27 (S) (Tabla 6). Estos resultados concuerdan con Zhang et al. (2021), que concluyeron que las coberturas plásticas aumentan la cantidad de biomasa debido a que promueven la fijación biológica del nitrógeno en las raíces y el desarrollo de nuevos brotes.

Peso de raíz

Los tratamientos de estudio presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto en peso de raíces en F como en S, expresados en g. En el caso de peso fresco, los tratamientos con mejores resultados fueron el T3 (63,82) y T4 (63,24), mientras que el T0 (49,23) fue el que menor valor registró. Así mismo, respecto al peso de raíces en seco, los mejores tratamientos fueron el T3 (15,50), T4 (15,48) y T1 (15,10), siendo el T2 (11,83) y el T0 (12,54) los que presentaron valores más bajos (Tabla 6). Los resultados obtenidos no concordaron con lo encontrado por Li et al. (2021), quienes en su investigación en soya no encontraron diferencias significativas en el peso de raíces entre tratamientos con coberturas plásticas respecto a un tratamiento control con suelo desnudo.

Número de vainas por planta

Los tratamientos T4 (296,47) y T3 (294,27) presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto a los demás tratamientos de estudio, siendo el T0 (198,53) el que menor número de vainas por planta registró (Tabla 7). Según lo

encontrado, el uso de coberturas plásticas pudo aumentar la cantidad de vainas por planta hasta un 33% respecto al suelo desnudo. Mon & Oue (2022) en su experimento también realizado en soya, concluyeron que el uso del mulch está directamente relacionado a la cantidad de hojas verdes aumentando el número de vainas por planta, y esta, a su vez, depende de un óptimo contenido de humedad en el suelo, por tanto, el mulch ayuda a la retención de humedad.

Peso de semillas

Los resultados de esta variable, expresados en kg, presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos, siendo el T4 (2,45) y T3 (2,44) los que mayor valor registraron, mientras que, el T0 (1,64) fue el tratamiento con menor peso de semillas (Tabla 7). Por lo tanto, el uso de coberturas plásticas (verde) aumentó hasta en 0,81 kg el peso de semillas. En la investigación de Yang et al. (2023) en cultivo de maíz se puede evidenciar que el peso máximo de 1000 granos se obtuvo con cobertura plástica con respecto a la práctica convencional. De la misma manera, estos resultados coincidieron con Kader et al. (2017a) quienes mencionaron que la disminución en el peso de las semillas en los tratamientos con suelo desnudo se produjo debido al bajo contenido de agua en la primera capa de suelo ocasionado por la alta evaporación superficial.

Rendimiento

La variable rendimiento presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los resultados del factor de estudio, donde los tratamientos T3 y T4 fueron los que tuvieron mayor rendimiento con 6,09 y 6,13 t ha⁻¹, respectivamente. Mientras que el T0 fue el que obtuvo el rendimiento más bajo con 4,10 t ha⁻¹ (Tabla 7).

Tabla 6

Valores promedio de Biomasa y peso de raíz en fresco (F) y seco (S), expresados en g para los tratamientos (Tt) del mulch plástico: suelo desnudo (T0), negro (T1), rojo (T2), azul (T3) y verde (T4) y suelo desnudo (T0)

Tt	Biomasa		Peso de Raíz	
	F	S	F	S
T0	659,78 ^d ± 5,46	203,28 ^d ± 2,26	49,23 ^c ± 2,34	12,54 ^b ± 4,29
T1	824,87 ^b ± 4,13	233,16 ^b ± 4,29	58,82 ^{ab} ± 4,83	15,10 ^a ± 3,20
T2	772,86 ^c ± 3,28	214,56 ^c ± 2,83	55,32 ^b ± 1,00	11,83 ^b ± 1,00
T3	861,28 ^a ± 8,31	256,20 ^a ± 5,73	63,82 ^a ± 7,82	15,50 ^a ± 2,07
T4	858,28 ^a ± 12,67	259,31 ^a ± 2,98	63,24 ^a ± 6,43	15,49 ^a ± 1,75

Las letras minúsculas dentro de cada línea indican diferencias significativas ($p < 0,05$) por la prueba de Duncan.

Se evidenció que el mulch plástico aumento hasta en 2 t ha⁻¹ el rendimiento. Eid et al. (2013) en su investigación encontraron que el uso de mulch plástico, en su caso, de color negro, mejoró el rendimiento de la soya en comparación al suelo desnudo. Sanbagavalli et al. (2017) en su estudio mencionaron que el uso de mulch también mejoró el rendimiento del cultivo debido a que estas conservan la humedad, misma que produce una mayor división y crecimiento celular, esto a su vez se refleja en una mayor capacidad fotosintética en las plantas, aumentando la producción y transporte de foto asimilados hacia los granos. Por otro lado, Tian et al. (2023) en su estudio encontraron que la humedad y la temperatura promedio del suelo bajo acolchado plástico fueron más altas. Por lo que así mismo, el rendimiento del cultivo también fue mayor (19,76%), probablemente debido a que puede mantener la humedad del suelo y mejorar el

estado térmico de la superficie del suelo, mejorando así el crecimiento de las plantas.

Tabla 7

Valores promedio de variables analizadas para los para los tratamientos (Tt) del mulch plástico: suelo desnudo (T0), negro (T1), rojo (T2), azul (T3) y verde (T4) y suelo desnudo (T0)

Tt	Número de vainas por planta	Peso de semillas (kg)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
T0	198,53 ^d ± 14,68	1,64 ^d ± 0,034	4,11 ^d ± 0,09
T1	261,40 ^b ± 11,44	2,16 ^b ± 0,026	5,41 ^b ± 0,07
T2	223,07 ^c ± 12,16	1,85 ^c ± 0,058	4,62 ^c ± 0,14
T3	294,27 ^a ± 42,95	2,44 ^a ± 0,103	6,09 ^a ± 0,28
T4	296,47 ^a ± 22,14	2,45 ^a ± 0,056	6,14 ^a ± 0,14

Las letras dentro de cada línea indican indiferencias significativas (p < 0,05) por la prueba Duncan.

CONCLUSIONES

El mulch plástico de colores son capaces de influir en la temperatura del suelo. En las primeras capas (0 y 10 cm) pueden aumentar la temperatura hasta 6 °C respecto al suelo desnudo. Así mismo, el flujo neto de calor esta influenciado por el mulch plástico, principalmente por el color, donde guardan relevancia colores oscuros como el negro y verde. Las variables morfológicas del cultivo de soya también fueron influenciadas por el uso del mulch, siendo así, los tratamientos de color azul ante las variables de altura, diámetro de tallo, IAF, Clorofila, biomasa y el tratamiento de color verde sobre el número de vainas y peso de semillas, los que mejores resultados tuvieron frente al suelo

desnudo. De igual manera, el uso de mulch plástico mejora el rendimiento en el cultivo, en especial de los colores verde y azul, su uso puede aumentar el rendimiento hasta en 2 t ha⁻¹. En base al ensayo realizado y a los resultados obtenidos el mulch plástico de color azul y verde serían una opción viable para mejorar la productividad de la soya y sus rendimientos económicos, sin embargo, cabe recalcar que el experimento se llevó a cabo en el periodo de ausencia de lluvias (bajas temperaturas) por lo que, se recomienda repetir el ensayo con diferentes condiciones climatológicas, en otra época del año.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Machala (UTMACH) ya que el trabajo deriva del proyecto semillero "Efecto del mulch en el rendimiento de cultivos tropicales de ciclo corto, provincia El Oro-Ecuador" aprobado mediante resolución No. 496-2022 del 14 de diciembre de 2022, por el Honorable Consejo

Universitario. Además, al Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT) por ayudar y facilitar el uso de equipos para la realización de la presente investigación, a nuestros formadores de la carrera de Agronomía, en especial al Ing. Eduardo Luna Romero por su apoyo en el estudio, asesoramiento en el manuscrito del artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Ali, S., Xu, Y., Jia, Q., Ma, X., Ahmad, I., Adnan, M., & Jia, Z. (2018). Interactive effects of plastic film mulching with supplemental irrigation on winter wheat photosynthesis, chlorophyll fluorescence and yield under simulated precipitation conditions. *Agricultural Water Management*, 207, 1–14.
- Alvarado, P. A., & Castillo, H. C. (2003). Acolchado de suelo mediante filmes de polietileno. *Universidad Nacional de Chile*.
- Amare, G., & Desta, B. (2021). Coloured plastic mulches: impact on soil properties and crop productivity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 4.
- Batallas, P., Jaramillo, E., & Luna, E. (2022). Evaluación morfológica del pimiento (capsicum annun L.) bajo coberturas plásticas de diferentes colores, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 143-152.
- Chen, N., Li, X., Shi, H., Hu, Q., Zhang, Y., Dong, Q., & Wang, G. (2022). Evaluating crop coefficient and associated processes in a drip irrigation with different color of biodegradable film mulching. *Irrigation Science*, 40(3), 321–335.
- Eid, A., Bakry, B., & Taha, M. (2013). Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. *Agricultural Sciences* (4), 249-261.
- FAO. (2020). *Cultivos y productos de ganadería*. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Kader, M., Nakamura, K., Senge, M., Mojid, M., & Kawashima, S. (2020). Effects of coloured plastic mulch on soil hydrothermal characteristics, growth and water productivity of rainfed soybean. *Irrigation and Drainage*, 69(3), 483–494.
- Kader, M., Senge, M., Mojid, M., Onishi, T., & Ito, K. (2017). Effects of plastic-hole mulching on effective rainfall and readily available soil moisture under soybean (Glycine max) cultivation. *Paddy and Water Environment*, 15(3), 659–668.
- Kader, M., Senge, M., Mojid, M., & Nakamura, K. (2017). Mulching type-induced soil moisture and temperature regimes and water use efficiency of soybean under rain-fed condition in central Japan. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(4), 302-308.
- Li, C., Luo, X., Li, Y., Wang, N., Zhang, T., Feng, H., ... & Siddique, K. H. (2023). Ridge planting with transparent plastic mulching improves maize productivity by regulating the distribution and utilization of soil water, heat, and canopy radiation in arid irrigation area. *Agricultural Water Management*, 280, 108230.
- Li, B., Huang, S., Wang, H., Liu, M., Xue, S., Tang, D., & Yang, X. (2021). Effects of plastic particles on germination and

- growth of soybean (*Glycine max*): A pot experiment under field condition. *Environmental Pollution*, 272, 116418.
- Li, Q., Li, H., Zhang, L., Zhang, S., & Chen, Y. (2018). Mulching improves yield and water-use efficiency of potato cropping in China: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 221, 50–60.
- Lowery, B., Arshad, M., Lal, R. & Hickey, W. (1996) Soil Water Parameters and Soil Quality. *Methods for Assessing Soil Quality*, 143-157.
- Mendonça, S., Ribeiro, M., Vital, R., Evangelista, Z., Pontes, N., & Nascimento, A. dos R. (2021). The effect of different mulching on tomato development and yield. *Scientia Horticulturae*, 275, 109657.
- Minhas, W. A., Mehboob, N., Yahya, M., Rehman, H. U., Farooq, S., & Hussain, M. (2022). The Influence of Different Crop Mulches on Weed Infestation, Soil Properties and Productivity of Wheat under Conventional and Conservation Production Systems. *Plants*, 12(1), 9.
- Mon, M., & Oue, H. (2022). Effects of mulches combination with different SWC on soil properties and soybean production. *Earth and Environmental Science*, 1059.
- Montemayor, J., Suárez, E., Munguía, Juan P., Segura, M., Mendoza, R., & Woo, J. (2018). Acolchados plásticos para la producción de maíz (*Zea mays* L.) forrajero en la Comarca Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(20), 4107-4115.
- Puig, P. (1950). Curso teórico-práctico de ecuaciones diferenciales aplicado a la Física y Técnica. Biblioteca Matemática.
- Rao, S. A., Singh, P., & Gonsalves, T. (2023). Black plastic mulch affects soil temperature and yield of sweet potato under short season temperate climates. *International Journal of Vegetable Science*, 29(1), 72-83.
- Reis, L., de Azevedo, C., Albuquerque, A., & Junior, J. (2013). Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(4), 386–391.
- Sanbagavalli, S., Vaiyapuri, K., & Marimuthu, S. (2017). Impact of mulching and anti-transpirants on growth and yield of soybean (*Glycine max* L. Merril). *Advances in Environmental Biology*, 1(11), 84-89.
- Silva, A., Ponce de León, J., García, F., & Durán, A. (1988). Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. *Boletín de Investigación*, 1988 (10): 20 p. 20 p.
- Sintim, H., Bary, A., Hayes, D., Wadsworth, L., Anunciado, M., English, M. E., & Flury, M. (2020). In situ degradation of biodegradable plastic mulch films in compost and agricultural soils. *Science of The Total Environment*, 138668.
- Soto, J., Catuto, A., & Álvarez, M. (2021). Evaluación del crecimiento y nodulación de plantas de soya (*Glycine max*) inoculadas con *Rhizobium* y *Bradyrhizobium japonicum* en Manglaralto, Santa Elena (Ecuador). *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8 (2), 27-32.
- Steinhart, J., & Hart, S. (1968). Calibration curves for thermistors. *Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 15(4), 497–503.
- Systems, S. R. (2012). *Thermistor Calculator*. <https://www.thinksrs.com/downloads/programs/therm%20calc/ntccalibrator/ntccalculator.html>
- Tian, L., Cao, X., Zhang, L., Yang, T., & Feng, B. (2023). Plastic film mulching regime altered fungal, but not bacterial community structure at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 347, 108356.
- Unsihuay, F. (2002). Evaluación del efecto de la disminución de la radiación absorbida en la temperatura del suelo y flujo de calor en el suelo. In *Anales científicos* (pp. 87–100).
- Villaseñor, D., de Mello, R., Pereira, G., & Lata, L. (2022). Applicability of DRIS in bananas based on the accuracy of nutritional diagnoses for nitrogen and potassium. *Scientific Reports*, 12(1), 18125.
- Villaseñor, D., Noblecilla, Y., Luna, E., Molero, R., Barraqueta, S., González, C., & Garzón, J. (2020). Respuesta óptima económica de la fertilización potásica sobre variables productivas del banano (*Musa* spp.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 36(2), 161–170.
- Yang, X., Soothar, R. K., Rahu, A. A., Wang, Y., Li, B., Mirjat, M. U., ... & Chandio, F. A. (2023). Integrated Effects of Water Stress and Plastic Film Mulch on Yield and Water Use Efficiency of Grain Maize Crop under Conventional and Alternate Furrow Irrigation Method. *Water*, 15(5), 924.
- Zhang, W., Zhan, A., & Li, S. Q. (2021). Effects of planting density and film mulching on the integrated productivity of soybean in young apple orchard of the Loess Plateau. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 29(7), 1138-1150.