

Variación de la temperatura del suelo utilizando residuos vegetales.

Eladio Delgadillo-Ruiz¹, David Tirado-Torres¹, Ricardo Alejandro Ramírez-García¹, Marlene Nataly Delgado-Escobedo¹, Luz Adriana Arias-Hernández², Jorge Francisco Luna-Gutiérrez¹, Andres González-Evaristo¹, Julieta Contreras-Cisneros¹, Yesenia Barrientos-Hernández¹

¹Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Av. Juárez No. 77, Col. Centro, Guanajuato, Gto., C.P. 36000, México.

²Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, Av. Juárez No. 77, Col. Centro, Guanajuato, Gto., C.P. 36000, México.
e.delgadillo@ugto.mx

Resumen

El flujo constante de energía del suelo a la atmósfera ocasiona un aumento en la cantidad de agua que requieren los cultivos, en este estudio se estableció como objetivo la reducción de ese flujo de energía mediante la utilización de eco-materiales colocados en láminas con espesores de 10 centímetros en el caso los acolchados a base de paja de avena y de bagazo de maguey, se utilizaron láminas de acolchado plástico de polietileno en color negro-negro y finalmente un bloque denominado testigo que no cuenta con acolchado alguno, se utilizaron bloques al azar en los cuales los elementos de suelo analizados cuentan con las medidas de 1x1x1 metros y para cada uno de ellos se instalaron estaciones de monitoreo de humedad, temperatura y conductividad eléctrica que registran información en un intervalo de 5 minutos de manera continua y colocados a una profundidad de 30 centímetros. Como resultados se obtuvieron gráficas en las cuales se distingue que las variaciones de temperatura durante un periodo comprendido de septiembre a diciembre, los bloques correspondientes a los acolchados plásticos y testigo sufren mayores fluctuaciones en los límites mínimos y máximos de temperatura llegando a tomar valores de 14 hasta 32 grados centígrados en el caso de los primeros y de 11 hasta 30 grados centígrados en el caso de los segundos respectivamente. Para el caso de los bloques de residuos vegetales como el bagazo de maguey se registraron valores de 15 hasta 24 grados centígrados y de paja de avena de llegando a tomar valores de 14 hasta 24 grados centígrado. La disminución en las fluctuaciones de la temperatura diaria del suelo influye en la cantidad de recurso hídrico que requieren los cultivos para asegurar la producción de alimentos y depende de la estructura física del material vegetal para ser empleado, de su color, de la densidad, del espesor, entre otras.

Palabras clave: acolchados, temperatura del suelo, bagazo de maguey.

Introducción

La temperatura del suelo es un parámetro crucial que influye en la dinámica y salud de los ecosistemas terrestres, así como en la producción agrícola. Con el objetivo de investigar cómo las prácticas de manejo afectan la temperatura del suelo, se han llevado a cabo varios experimentos de campo utilizando diversos materiales para conocer las modificaciones sobre los componentes del balance hídrico y definir las ventajas de cada uno de ellos sobre los diferentes tipos de cultivos (Bajoriené et al., 2013). Las altas temperaturas en la superficie del suelo provocan una disminución en la germinación de las semillas, el uso de acolchados tiene un efecto significativo en la variación de la temperatura y la humedad del suelo (Mangani et al., 2022). Un ejemplo claro de la utilización de acolchado orgánico es el de residuos vegetales de tipo paja, técnica de producción de cultivos que provoca cambios espaciotemporales en la humedad y la temperatura del suelo. Este acolchado regula el estado de secado y humectación y reduce la variación de temperatura (Kader et al., 2019). La temperatura y la humedad del suelo son los factores que controlan la variación temporal de respiración del suelo, pero los factores que controlan la variación en el espacio son inciertos. Como, por ejemplo, se ha encontrado que el gradiente topográfico, temperatura y humedad del suelo, la cubierta vegetal, fuentes de carbono y propiedades fisicoquímicas del suelo afectan esta respiración.

Un estudio realizado en el noreste de China señala que utilizar acolchados es un modo de producción importante de alimento con un uso altamente efectivo de agua, sin embargo, dadas las diferencias en los entornos y las especies de cultivos entre las regiones de este país, se vuelve importante analizar si los

cambios en la temperatura del suelo inducidos por el acolchado son benéficos para la producción de cultivos. Entonces, se ha comparado la utilización de plásticos y materiales vegetales como acolchados en cultivos de trigo y se concluyó que este último redujo la variabilidad diaria de la temperatura del suelo al disminuir la temperatura máxima, mientras que el acolchado de tipo plástico produjo el mismo efecto al disminuir la temperatura máxima y aumentar la temperatura mínima del suelo, lo que podría promover el crecimiento vegetativo del trigo y el aumento en el rendimiento en los seis años experimentales (Li et al., 2021). Al respecto, otro estudio señala que los acolchados de tipo plásticos registran la mayor temperatura del suelo en profundidades de 20 a 60 cm en comparación de acolchados de tipo paja de cebada y viruta de madera en campos de árboles de pistaches en Irán durante el 2014 y 2015 (Nurzadeh et al., 2018).

El uso de acolchados orgánicos es una excelente opción en regiones áridas y semiáridas con métodos tradicionales de riego y con escasez de agua (Wang et al., 2022). Los acolchados tienen significativa importancia como alternativa a los problemas que sufren los cultivos de riego por el déficit de agua. Esta última técnica consiste en la colocación de materiales vegetales (paja, aserrín, cáscara de arroz), o polietileno cubriendo la superficie del suelo. La película de polietileno, fundamentalmente por su fácil mecanización en la colocación, es el material más utilizado a nivel mundial, teniendo además como ventajas el ser flexible, impermeable al agua y no sufrir pudriciones ni ser atacado por microorganismos. Por lo tanto, se han estudiado los efectos que tendrían los acolchados vegetales de paja de trigo triturado y una película de plástico sobre semillas de girasol sometida a diferentes intensidades de riego (Zhang et al., 2021) resultando en el aumento de la producción en ambos casos. Asimismo, los acolchados en algunas especies de cultivos tienen algunos efectos sobre el proceso de descomposición de los cultivos y los parámetros de calidad del acolchado durante un transcurso de tiempo (Halde & Entz, 2016). El acolchado ha servido para conservar el agua del suelo y mejorar el rendimiento de los cultivos. Se han llevado a cabo estudios de los rendimientos de trigo bajo un tratamiento con acolchado de película plástica con no sulfato, los resultados de estos estudios indicaron que con la implementación del acolchado se mejoró el rendimiento de trigo y la eficiencia del uso del agua en condiciones de temporal (Mingming et al., 2018). La utilización de acolchados de paja ha demostrado ser eficaz en la producción de cultivos de trigo en suelos áridos, ya que particularmente se incrementa la retención de humedad del suelo y se modifica la cantidad de evapotranspiración del cultivo de trigo (Yan et al., 2018).

Asimismo, la agricultura orgánica es conocida por su enfoque en prácticas sostenibles y amigables con el medio ambiente. Una de las principales ventajas de este enfoque radica en la implementación de acolchados orgánicos naturales, que tiene la capacidad de descomponerse y enriquecer el suelo con material orgánico. Uno de los indicadores más relevantes en este contexto es el contenido de carbono orgánico del suelo (CO₂), ya que se considera crucial para mantener la salud del suelo y promover un ecosistema agrícola próspero (Mangani et al., 2022). En algunos de los datos que han sido recabados en investigaciones realizadas, se observó que, con el uso de acolchados, se pueden controlar plagas y que la utilización de acolchados repercute en la acumulación de nutrientes en el suelo de los cultivos. Las evaluaciones del potencial de los herbicidas en tasas reducidas en simultáneo con el acolchado orgánico han mostrado efectos positivos para eliminar las malezas (Bhaskar et al., 2020). Además, los efectos de varias combinaciones de herbicidas, aplicados a tasas reducidas en el crecimiento de un acolchado de vegetación corta muestran que una secuencia adecuada de ellos puede controlar las malezas y mantener un soporte de acolchado sano (Bhaskar et al., 2021). El uso de herbicidas con acolchado vegetal reduce las pérdidas del rendimiento del cultivo, además el suelo muestra mejoras y mayor crecimiento en el caso de plantas ornamentales (Hannam et al., 2016).

La productividad de un cultivo se puede aumentar cubriendo el suelo con acolchados vegetales ya que mejoran las condiciones de la superficie del suelo, tal como moderar los cambios bruscos de temperatura, esto permite que el cultivo crezca en un ambiente térmico adecuado, el acolchado funciona como un mecanismo regulador importante para que el cultivo tenga un mejor crecimiento y desarrollo (Yin et al., 2023). En cultivos bajo invernadero, los agricultores usan un sistema de trasplantes híbridos cultivados en semilleros de polietileno, con riego sobre la superficie, estudios preliminares determinaron que el acolchado podría aplicarse de semillero y suprimir malezas (Johnson et al., 2014). Las malezas pueden ocasionar que los cultivos se dañen y, por lo tanto, ocasionar pérdidas económicas en los productores por lo que, se realizó un estudio para evaluar la eficacia y el beneficio económico de los programas de herbicidas. El programa de herbicidas S-metolachlor fue rentable para el manejo de malas hierbas en la producción de pimienta morrón acolchonado LDPE (Devkota et al., 2015). Además del control de malezas en los cultivos, los acolchados orgánicos tienen otros beneficios, para el mantenimiento del paisaje es común aplicar acolchados y herbicidas, las combinaciones más eficientes de herbicida y acolchado puede mitigar los impactos ambientales negativos (Marble, 2015).

La colocación de un acolchado en el suelo ofrece diversas ventajas para los cultivos tanto desde un punto de vista agronómico como fitosanitario. Aunque el material más comúnmente utilizado para este propósito es el

polietileno, en la economía circular se han explorado alternativas prometedoras, como la paja y los biopolímeros biodegradables. En este contexto, se han llevado a cabo estudios para evaluar y comparar el efecto de estos tres tipos de acolchado y del suelo libre de residuos vegetales en un invernadero mediterráneo durante dos años de cultivo de tomate orgánico. Los resultados mostraron que los suelos acolchados presentaban temperaturas más altas en comparación con el suelo no acolchado, aunque hacia el final del segundo ciclo, las diferencias entre el suelo y los tratamientos se hicieron menos pronunciadas. La evaporación del agua fue menor en los suelos acolchados en general, sin grandes diferencias entre los tipos de acolchado. El rendimiento del cultivo de tomate no mostró diferencias significativas entre los diferentes tipos de acolchado (Marín-Guirao et al., 2022). De igual manera, tras un estudio de tres años para determinar si el uso del acolchado orgánico y el sustrato micorrizico sobre el crecimiento y el rendimiento manzanas Gold Milenium, se determinó que el acolchado de aserrín aumentó significativamente el número de frutas, los mejores resultados fueron con el uso de composta de estiércol de vaca y sustrato micorrizico (Sas-Paszt et al., 2014). Los agricultores de Japón han utilizado la Follopia japónica en el cultivo de solanáceas y se ha analizado que el uso de acolchados tiene efectos positivos. Las enfermedades naturales en los cultivos de solanáceas tendieron a disminuir cuando se adoptó el acolchado de malezas nudosas (Hidehiro et al., 2021). La siembra de acolchados naturales cortos puede ayudar a los agricultores a mejorar el control de la hierba al aumentar la cobertura competitiva del suelo. A pesar del efectivo control de hierba, los rendimientos reducidos pueden hacer que la adopción de las especies de acolchado corto sea menos atractiva para los cultivos convencionales (Nurse et al., 2019). Los acolchados usados en los sistemas de plasticultura pueden disminuir la disipación de fomesafen, un inhibidor de la oxidasa protoporfirinógeno, y disuadir a los productores de usar herbicidas por temor a lesiones en los cultivos (Reed et al., 2018).

Por otro lado, la aplicación prolongada de estiércol en tierras agrícolas podría alterar las propiedades físicas del suelo ya que la aplicación a largo plazo de excremento de animales de corral de engorda a un suelo franco arcilloso en una región semiárida no necesariamente proporciona los beneficios positivos a ciertos suelos físicos. Cabe recalcar que existen alternativas para la aplicación de estiércol en tierras de cultivo productivas, como la generación de biogás y otras tecnologías para producir productos básicos de valor agregado a partir del estiércol de los corrales de engorda, ya que puede reducir el exceso de insumos orgánicos (Rees et al., 2014).

El uso de acolchados no es una metodología moderna, sin embargo, puede modificar el microambiente del suelo para mejorar el rendimiento y producción de los cultivos, además de proporcionar otras ventajas como proteger las plantas de diversos agentes y el buen manejo de malezas, por lo tanto, en este estudio la finalidad fue al de colocar diversos materiales vegetales como acolchados y compararlos con los acolchados plásticos comerciales mediante el uso de gráficos de distribución de la temperatura en suelos agrícolas.

Metodología

Diseño experimental

Se llevó a cabo un diseño completamente aleatorizado de un factor para evaluar el efecto de tres tipos de acolchado (polietileno negro-negro, bagazo de maguey y paja de avena) y un testigo (sin acolchado) en los datos de temperatura del suelo (variable de respuesta). Para los acolchados y el testigo se colocaron sensores de tipo Echo 5TE a una profundidad de 30 cm. Este tipo de sensores además registran la humedad y conductividad eléctrica del suelo, se realizó una programación de registros a un intervalo de tiempo de 5 minutos cada uno de ellos, en total se tuvieron 3 repeticiones de cada uno de los tratamientos, por lo cual se instrumentaron un total de 12 elementos de suelo.

Las condiciones en las cuales se llevaron a cabo los registros corresponden a características de temporal, en las cuales principalmente la condición de humedad corresponde específicamente a las de la precipitación presente en la zona de estudio en el periodo de meses mencionado con antelación. Se colocaron elementos de suelo con características de 1x1x1 metros, en la parte superior del elemento fueron colocados tres tratamientos descritos a continuación: 1) bagazo de maguey (producto de la obtención de mezcal con maguey tipo *Salmiana*), 2) paja de avena, 3) Plástico negro-negro y 4) Testigo. Los tratamientos en las unidades serán distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque y serán independientes.

El diseño experimental se basa en la distribución de Bloques Completos al Azar (DBCA), entre las características de este diseño se encuentran: Las unidades experimentales son heterogéneas, las unidades homogéneas están agrupadas formando los bloques, en cada bloque se tiene un número de unidades igual

al número de tratamientos (bloques completos), los tratamientos están distribuidos al azar en cada bloque, el número de repeticiones es igual al número de bloques.

Este diseño está representado por el siguiente modelo (Cochran, 1991):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \dots (1)$$

En el cual Y_{ij} representa la variable de respuesta, μ es la media general, τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento, β_j es el efecto del bloque y ε_{ij} representa el error experimental.

Análisis estadístico

En el caso de los tratamientos sin estructura, que son los tratamientos entre los cuales no existe ninguna relación entre ellos, se puede aplicar una comparación de medias como la de la prueba de Tukey, la cual se recomienda usar cuando se tienen tratamientos cuantitativos. Por lo tanto, para nuestra comparación emplearemos esta prueba de medias en los datos de temperatura de suelo obtenidos a partir de la instrumentación de los elementos de suelo.

Para la obtención de las gráficas de variación de suelo se utilizó el programa de cómputo SigmaPlot utilizando los registros diarios de temperatura del suelo registrados para el periodo septiembre diciembre y en el cual se establecen las variaciones de temperatura de cada una de las repeticiones de cada material vegetal utilizado.

Resultados

Se realizó un análisis estadístico utilizando el paquete de cómputo SPSS® y el Statgraphics® Centurion XV.II. Los datos fueron sometidos a un análisis a través de un método no-paramétrico debido a que las series de datos no presentan un comportamiento normal después de realizarles la prueba de t-Student. La prueba de ANOVA se aplicó al diseño de bloques al azar para con ello aplicarles la prueba de Tukey's ($P \leq 0.05$). En la tabla 1 se identifican los tratamientos que se implementaron, las tres repeticiones de cada uno de ellos asignados con un número aleatorio asociado al bloque al azar que le correspondía, el total de datos recopilados durante el periodo de análisis y en las siguientes columnas se muestran una serie de datos estadísticos correspondientes al total de registros recopilados, incluyendo la media, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos, la mediana, entre otros.

Tabla 1. Estadísticos de la temperatura del suelo para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Tamaño	Datos faltantes	Media	Std Dev	Max	Min	Rango	Error Std	C.I. of Mean
TESTIGO-11	26559	0	21.26	2.56	28.50	14.70	13.80	0.0157	0.0308
TESTIGO-7	26559	0	20.45	3.13	30.00	12.70	17.30	0.0192	0.0377
TESTIGO-6	26559	0	21.15	2.52	29.00	14.70	14.30	0.0155	0.0303
POLIETILENO NEGRO-12	26559	0	22.53	3.16	30.90	14.50	16.40	0.0194	0.0380
POLIETILENO NEGRO-8	26559	0	22.74	3.19	31.20	14.80	16.40	0.0196	0.0384
POLIETILENO NEGRO-1	26559	0	22.46	3.22	30.20	14.20	16.00	0.0197	0.0387
BAGAZO DE MAGUEY-9	26559	0	20.28	1.82	25.80	15.30	10.50	0.0112	0.0219
BAGAZO DE MAGUEY-4	26559	0	19.85	1.88	24.20	14.90	9.30	0.0116	0.0226
BAGAZO DE MAGUEY-2	26559	0	20.00	1.81	24.00	15.20	8.80	0.0111	0.0217
PAJA DE AVENA-10	26559	0	18.72	1.93	23.70	13.80	9.90	0.0118	0.0232
PAJA DE AVENA-5	26559	0	19.23	1.88	23.80	14.60	9.20	0.0115	0.0226
PAJA DE AVENA-3	26559	0	19.36	1.60	23.40	15.30	8.10	0.0098	0.0192
Tratamientos	Mediana	10%	90%	Skewness	Kurtosis	K-S Dist.	K-S Prob.	Sum	Suma de cuadrados
TESTIGO-11	21.30	18.00	24.70	0.03	-0.34	0.02	<0.001	564624.70	12177709.94
TESTIGO-7	20.20	16.70	24.80	0.32	-0.28	0.05	<0.001	543012.80	11362595.43
TESTIGO-6	21.00	18.10	24.50	0.18	-0.15	0.04	<0.001	561841.10	12054032.48
POLIETILENO NEGRO-12	22.40	18.60	26.90	0.10	-0.42	0.02	<0.001	598267.60	13742189.76
POLIETILENO NEGRO-8	22.60	18.70	27.30	0.14	-0.41	0.03	<0.001	603812.30	13998046.76
POLIETILENO NEGRO-1	22.30	18.40	26.90	-0.02	-0.49	0.03	<0.001	596444.20	13669126.14
BAGAZO DE MAGUEY-9	20.60	17.40	22.40	-0.63	-0.08	0.09	<0.001	538676.40	11013488.12
BAGAZO DE MAGUEY-4	20.10	17.20	22.20	-0.41	-0.24	0.06	<0.001	527308.10	10563474.27
BAGAZO DE MAGUEY-2	20.30	17.30	22.10	-0.51	-0.14	0.08	<0.001	531183.30	10710454.24
PAJA DE AVENA-10	18.80	16.10	21.20	-0.23	-0.37	0.04	<0.001	497177.70	9405927.95
PAJA DE AVENA-5	19.40	16.30	21.50	-0.38	-0.29	0.06	<0.001	510777.10	9916598.56
PAJA DE AVENA-3	19.60	16.80	21.20	-0.52	-0.06	0.07	<0.001	514082.80	10018287.50

Asimismo, la Figura 1 muestra la variación del dato de temperatura del suelo para cada uno de los tratamientos con sus tres repeticiones, además se visualiza la desviación entre sus datos en comparación con la media, con lo cual se demuestra que no existe una variación significativa entre datos del mismo tratamiento, no así, en datos de diferentes acolchados. En el caso de los acolchados de polietileno y testigo, existe una desviación mayor de los datos de cada repetición llegando a valores superiores a 3, al contrario de los datos de temperatura de los acolchados vegetales de bagazo de maguey y de paja de avena, los cual concuerda con los datos de la columna de desviación estándar de la tabla 1 que muestra valores menores de 2. Estos resultados suponen que los datos de temperatura del suelo en los acolchados vegetales son cercanos a la media para todos los registros hechos.

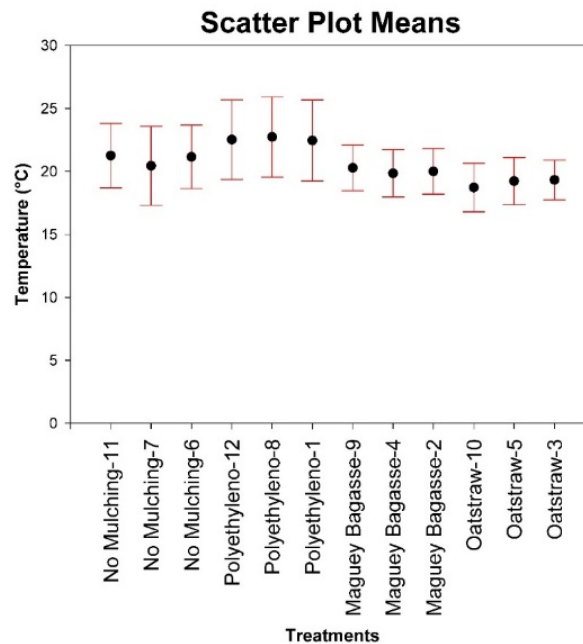


Figura 1. Medias de los datos de temperatura del suelo para cada uno de los tratamientos propuestos.

Para la obtención de las gráficas de variación de suelo se utilizó el programa de cómputo SigmaPlot tomando en cuenta los registros diarios de temperatura del suelo registrados para el periodo septiembre diciembre y en el cual se establecen las variaciones de temperatura de cada una de las repeticiones de cada material vegetal utilizado. Estas gráficas están representadas para cada tratamiento propuesto y representan la variación diaria de los datos en intervalos de 5 minutos. En la Figura 2 se observa que la temperatura del suelo del acolchado de polietileno negro-negro (izquierda) y la variación de la temperatura del testigo (derecha) son mayores a lo largo del día en cada una de las tres repeticiones incluidas. En contraste, la Figura 3 muestra que la temperatura del suelo del acolchado de residuo vegetal bagazo de maguey (izquierda) y la variación de la temperatura de paja de avena (derecha) son menores.

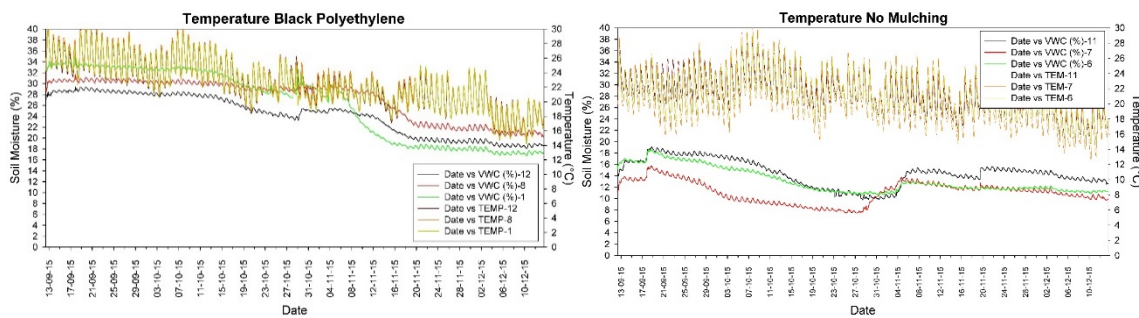


Figura 2. Comportamiento de la temperatura del suelo con acolchado de tipo polietileno negro-negro (izquierda) y testigo (derecha).

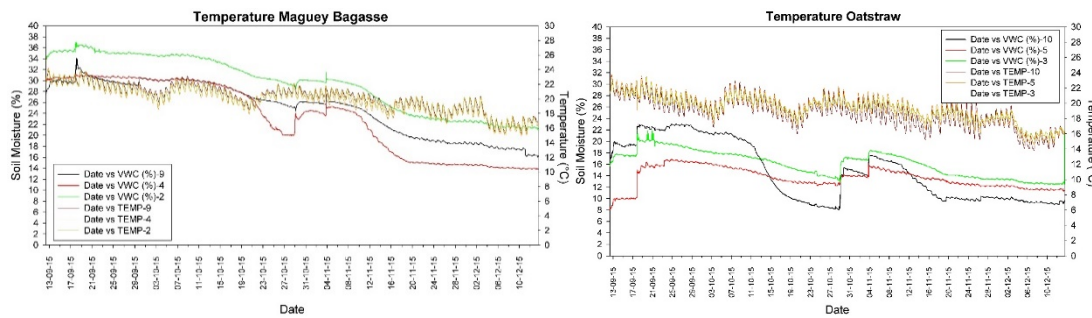


Figura 3. Comportamiento de la temperatura del suelo para residuos vegetales; bagazo de maguey (izquierda) y paja de avena (derecha).

Conclusiones y Discusión

La utilización de acolchados plásticos en la agricultura tiene una serie de ventajas en comparación con los de tipo orgánico, sin embargo, el alto costo de estos provoca que se requieran materiales alternativos para poder mejorar la conservación de la humedad del suelo y la variación de temperatura. Los acolchados vegetales son más amigables al ambiente, y en general propician variaciones de los componentes del balance hídrico superficial parecidos a los plásticos comerciales.

La utilización de acolchados vegetales por medio de capas en el suelo permite la reducción de la temperatura en éste o por lo menos, se visualiza con homogeneidad durante el día, con este trabajo se identificó que existe menor variación a lo largo del día en los registros realizados en comparación con los acolchados de polietileno comerciales y con el testigo, esta uniformidad en la variación de la temperatura permite controlar el requerimiento diario de consumo de agua en un cultivo.

La temperatura del suelo tiene una influencia directa en el crecimiento vegetal, el análisis en su variación implica una serie de variables climáticas asociadas con las regiones de estudio y su cambio climático, ya que se relaciona directamente con las actividades biológicas y físico-químicas del suelo. Esta variación se regula con la utilización de materiales vegetales como acolchados sobre una superficie, los extremos de los valores registrados se acercan a la media de los datos de mejor manera en este tipo de materiales comparados con los de tipo plástico o en suelos desnudos.

Las variaciones de las temperaturas observadas en los diferentes acolchados vegetales y en los acolchados plásticos seleccionados, muestran que los niveles térmicos promedio del suelo medidos con los sensores propuestos son mayores en los acolchados de tipo polietileno negro-negro y en el suelo desnudo, es decir, el acolchado de polietileno tiende a calentar el suelo en las horas del día y conservan el calor durante la noche, cosa que no ocurre con los materiales de residuos vegetales.

Finalmente, las gráficas obtenidas con el programa de SigmaPlot, nos permiten visualizar de manera clara y rápida la variación de la temperatura a lo largo del día, además en las Figuras 2 y 3 se incluyeron las variaciones de la humedad de suelo registradas por el sensor utilizado, esta comparación tiene un sentido de correspondencia debido a que a mayor temperatura existirá una menor retención de humedad en el suelo.

Bibliografía/Referencias

- Bajorienė, K., Jodaugienė, D., Pupalienė, R., & Sinkevičienė, A. (2013). Effect of organic mulches on the content of organic carbon in the soil. *Estonian Journal of Ecology*, 62(2), 100. <https://doi.org/10.3176/eco.2013.2.02>
- Bhaskar, V., Bellinder, R. R., Reiners, S., & DiTommaso, A. (2020). Reduced herbicide rates for control of living mulch and weeds in fresh market tomato. *Weed Technology*, 34(1), 55-63. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.81>
- Bhaskar, V., Bellinder, R. R., Reiners, S., Westbrook, A. S., & DiTommaso, A. (2021). Significance of herbicide order in sequential applications to target weeds in a sunn hemp living mulch. *Weed Technology*, 35(4), 565-573. <https://doi.org/10.1017/wet.2021.15>

- Devkota, P., Norsworthy, J. K., & Rainey, R. (2015). Efficacy and Economics of Herbicide Programs Compared to Methyl Bromide for Weed Control in Polyethylene-Mulched Bell Pepper. *Weed Technology*, 29(2), 284-297. <https://doi.org/10.1614/WT-D-14-00116.1>
- Halde, C., & Entz, M. H. (2016). Plant species and mulch application rate affected decomposition of cover crop mulches used in organic rotational no-till systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(1), 59-71. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0095>
- Hannam, K. D., Neilsen, G. H., Forge, T. A., Neilsen, D., Losso, I., Jones, M. D., Nichol, C., & Fentabil, M. M. (2016). Irrigation practices, nutrient applications, and mulches affect soil nutrient dynamics in a young Merlot (*Vitis vinifera* L.) vineyard. *Canadian Journal of Soil Science*, 96(1), 23-36. <https://doi.org/10.1139/cjss-2014-0118>
- Hidehiro, I., Sakiko, K., Kana, H., Nahoko, U., Yukiko, U., & Yuichi, T. (2021). Suppressive Effects of Traditional Mulching Using Japanese Knotweed (*Fallopia japonica*) on Solanaceae Crop Diseases. *Journal of Resources and Ecology*, 12(6). <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2021.06.014>
- Johnson, W. C., Ray, J. N., & Davis, J. W. (2014). Rolled Cotton Mulch as an Alternative Mulching Material for Transplanted Cucurbit Crops. *Weed Technology*, 28(1), 272-280. <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00074.1>
- Kader, M. A., Singha, A., Begum, M. A., Jewel, A., Khan, F. H., & Khan, N. I. (2019). Mulching as water-saving technique in dryland agriculture: Review article. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 147. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0186-7>
- Li, Y., Chai, S., Chai, Y., Li, R., Lan, X., Ma, J., Cheng, H., & Chang, L. (2021). Effects of mulching on soil temperature and yield of winter wheat in the semiarid rainfed area. *Field Crops Research*, 271, 108244. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108244>
- Mangani, T., Mangani, R., Chirima, G., Khomo, L., & Truter, W. (2022). Using mulching to reduce soil surface temperature to facilitate grass production. *Heliyon*, 8(12), e12284. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12284>
- Marble, S. C. (2015). Herbicide and Mulch Interactions: A Review of the Literature and Implications for the Landscape Maintenance Industry. *Weed Technology*, 29(3), 341-349. <https://doi.org/10.1614/WT-D-14-00165.1>
- Marín-Guirao, J. I., Martín-Expósito, E., García-García, M. del C., & de Cara-García, M. (2022). Alternative Mulches for Sustainable Greenhouse Tomato Production. *Agronomy*, 12(6), 1333. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061333>
- Mingming, Z., Baodi, D., Yunzhou, Q., Hong, Y., Yakai, W., & Mengyu, L. (2018). Effects of subsoil plastic film mulch on yield and water use of rainfed winter wheat. *Crop and Pasture Science*, 69(12), 1197. <https://doi.org/10.1071/CP17402>
- Nurse, R. E., Mensah, R., Robinson, D. E., & Leroux, G. D. (2019). Adzuki bean [*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi], oilseed radish (*Raphanus sativus* L.), and cereal rye (*Secale cereale* L.) as living mulches with and without herbicides to control annual grasses in sweet corn (*Zea mays* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, 99(2), 152-158. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0113>
- Nurzadeh Namaghi, M., Davarynejad, G. H., Ansary, H., Nemati, H., & Zarea Feyzabady, A. (2018). Effects of mulching on soil temperature and moisture variations, leaf nutrient status, growth and yield of pistachio trees (*Pistacia vera* L.). *Scientia Horticulturae*, 241, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.092>
- Reed, T. V., Boyd, N. S., Wilson, P. C., & Dittmar, P. J. (2018). Effect of Plastic Mulch Type on Fomesafen Dissipation in Florida Vegetable Production Systems. *Weed Science*, 66(1), 142-148. <https://doi.org/10.1017/wsc.2017.48>
- Rees, H. W., Chow, T. L., Zebarth, B., Xing, Z., Toner, P., Lavoie, J., & Daigle, J.-L. (2014). Impact of supplemental poultry manure application on potato yield and soil properties on a loam soil in north-western New Brunswick. *Canadian Journal of Soil Science*, 94(1), 49-65. <https://doi.org/10.4141/cjss2013-009>
- Sas-Paszt, L., Pruski, K., Żurawicz, E., Sumorok, B., Derkowska, E., & Gluszek, S. (2014). The effect of organic mulches and mycorrhizal substrate on growth, yield and quality of Gold Milenium apples on M.9 rootstock. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(2), 281-291. <https://doi.org/10.4141/cjps2012-239>

- Wang, H., Fan, J., Fu, W., Du, M., Zhou, G., Zhou, M., Hao, M., & Shao, M. (2022). Good harvests of winter wheat from stored soil water and improved temperature during fallow period by plastic film mulching. *Agricultural Water Management*, 274, 107910. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107910>
- Yan, Q., Dong, F., Lou, G., Yang, F., Lu, J., Li, F., Zhang, J., Li, J., & Duan, Z. (2018). Alternate row mulching optimizes soil temperature and water conditions and improves wheat yield in dryland farming. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11), 2558-2569. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61986-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61986-0)
- Yin, W., Fan, Z., Hu, F., Fan, H., He, W., Zhao, C., Yu, A., & Chai, Q. (2023). No-tillage with straw mulching promotes wheat production via regulating soil drying-wetting status and reducing soil-air temperature variation at arid regions. *European Journal of Agronomy*, 145, 126778. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126778>
- Zhang, J., Zhang, F., Xing, Z., Guo, X., Hui, S., Du, L., & Ding, L. (2021). Effects of mulching with crushed wheat straw padding and plastic film on sunflower emergence, yield, and yield components under different irrigation intensity in the northwest arid regions, China. *Canadian Journal of Soil Science*, 101(3), 466-479. <https://doi.org/10.1139/cjss-2020-0145>