

**Evaluación de cobertura vegetal en el suelo y
el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*)
en la finca agroecológica, Zamorano**

Martín Andrés Jaramillo Sabando

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de cobertura vegetal en el suelo y el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) en la finca agroecológica, Zamorano

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Martín Andrés Jaramillo Sabando

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2018

Evaluación de cobertura vegetal en el suelo y el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) en la finca agroecológica, Zamorano

Martín Andrés Jaramillo Sabando

Resumen. El manejo sostenible del suelo para fines de producción agrícola es de vital importancia a nivel mundial debido a la creciente demanda alimenticia. Diferentes prácticas como el uso de cobertura vegetal pueden beneficiar a pequeños agricultores. Los objetivos del estudio fueron determinar el efecto del uso de rastrojos de pasto guinea (*Megathyrsus maximus*) como material de cobertura en las variables de temperatura del suelo y la retención de humedad, además de evaluar su efecto en el crecimiento vegetativo y estimar el rendimiento en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Se establecieron seis parcelas de 200 m² dentro de la Finca Agroecológica Zamorano, divididos en dos tratamientos (con y sin cobertura), cada uno con tres repeticiones. En cada unidad experimental se sembraron 1,600 semillas. Se encontró una temperatura menor en el suelo con cobertura vegetal ($P \leq 0.05$). En el caso de la humedad, fue significativamente mayor en los suelos cubiertos a diferencia de las parcelas con suelo desnudo ($P \leq 0.05$). También, se observó una diferencia significativa en el crecimiento vegetativo y rendimiento del cultivo, siendo mayor en el tratamiento de suelo cubierto con *M. maximus* ($P \leq 0.05$). El uso de rastrojo permitió obtener una lámina de agua de 17,650 L/ha, reducir la temperatura en 2.51 °C, mayores alturas promedio en el cultivo y mejorar el rendimiento a 2,667 kg/ha con respecto al suelo desnudo.

Palabras clave: Agricultura de conservación, agroecología, humedad del suelo.

Abstract. The sustainable management of soils for agricultural production is of vital importance worldwide due to the growing demand of food. Different practices such as vegetative grown cover in the soils can have significant positive impacts that may benefit small farmers. The objectives of the study were to determine the effect of guinea grass (*Megathyrsus maximus*) ground cover on soil temperature and moisture retention, as well as evaluate its effect on the vegetative growth and estimate yield corn crop (*Zea mays*). Six plots of 200 m² were established at the Zamorano Agorecological Farm, in order to evaluate two treatments (with and without coverage), each of them with three replicates. In each plot, 1,600 seeds were planted. Significant differences were found between the treatment temperatures, which was lower in the soil with plant cover ($P \leq 0.05$). Humidity was significantly higher in covered soils in contrast with bare soil ($P \leq 0.05$). Vegetative growth of the crop and the yield were greater in soil covered with guinea grass ($P \leq 0.05$). The use of vegetative cover allowed the retention of 17,650 L/ha of water, reduce temperature by 2.51 °C, higher heights in crop and improved performance production to 2,667 kg/ha compared with nude soils.

Key words: Agroecology, conservation agriculture, soil moisture.

CONTENIDO

Portadilla	i
Pagina de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4. CONCLUSIONES.....	13
5. RECOMENDACIONES.....	14
6. LITERATURA CITADA	15
7. ANEXOS.....	19

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figuras	Página
1. Ubicación de las parcelas experimentales y la Finca Agroecológica Zamorano.	3
2. Distribución de los tratamientos en el área de estudio.	4
3. Distribución de las barrenaciones en las unidades experimentales.	5
4. Sub unidades experimentales.	6

Cuadros	Página
1. Diferencias significativas en la temperatura del suelo en función de las variables evualadas.	9
2. Diferencias significativas en la humedad del suelo en función de los factores evaluados y su interacción.	10
3. Diferencias en altura del cultivo de maíz en función de los tratamientos.	11
4. Rendimiento del cultivo en función de los tratamientos.	12

Anexos	Página
1. Contenido nutricional en el suelo del área de estudio en la Finca Agroecológica, Zamorano.	19
2. Diferencias en el contenido nutricional del suelo entre unidades experimentales. ...	19
3. Textura del suelo en el área de estudio entre unidades experimentales.	20
4. Distribución de la textura del suelo en el área de estudio.	20
5. Gráfico de normalidad del modelo para temperatura y humedad.	21
6. Gráfico de homogeneidad de la varianza del modelo para temperatura y humedad. ...	21
7. Gráfico de cajas y bigotes para comprobar la homocedasticidad entre los tratamientos.	22
8. Sensor de humedad en suelos SM150 y lector de datos HH150.	22

1. INTRODUCCIÓN

El suelo se puede definir como un recurso o cuerpo natural conformado por diferentes horizontes, compuestos de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2018). Esta capa representa la parte superficial de la corteza terrestre y puede alcanzar profundidades de hasta cinco metros o más (Corporación Autónoma Regional del Cauca [CRC], 2018). Su formación es el resultado de la relación dinámica entre clima, topografía y organismos sobre el material parental a lo largo del tiempo (Troeh y Thompson, 2002). Son la base en donde aproximadamente el 95% de los alimentos se producen de forma directa o indirecta. Un adecuado manejo para su conservación es de vital importancia para garantizar el sostén de la vida en la tierra (FAO, 2005).

Los principales impulsores globales del cambio en la Tierra son el crecimiento poblacional y económico a nivel mundial. Desde 1950, la población mundial aumentó en un 66%, alcanzando 7.6 billones de personas en la actualidad (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018). Satisfacer la demanda de alimentos durante este lapso de tiempo ha sido posible por el uso intensivo de insumos agrícolas y avances en las mejoras de los cultivos (FAO, y Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos [GTIS], 2015). Sin embargo, las presiones ejercidas por dichos procesos antropogénicos sobre el suelo afectan su capacidad productiva (Do Prado y Da Veiga, 1993). La productividad del suelo se define como la capacidad que posee para producir cultivos. Su aptitud para brindar bienes y servicios varía en función de sus características físicas, químicas, hídricas y biológicas y sus interacciones con el medio (FAO, 2015). Los cambios en su estado se definen como degradación del suelo, la cual resulta en la disminución de su productividad (FAO, 2018).

En la actualidad, el 33% de los suelos a nivel mundial se encuentran degradados por erosión, salinización, compactación, acidificación y contaminación por el uso de productos químicos (FAO, 2015). Proyecciones de la ONU (2018) estiman que la población mundial aumentará hasta alcanzar los 9.7 billones de personas en el 2050. Con esta tendencia al incremento demográfico se prevé que la demanda de alimentos aumentará en un 60% (FAO, 2015). Cuatro quintas partes de los alimentos necesarios procederán de la intensificación de las tierras existentes y se prevé que gran parte de estos sea ofertada por los países de América Latina y el Caribe (ALC) (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2016). Realizar cambios fundamentales en los sistemas agrícolas y alimentarios es de gran importancia. Principalmente por la finalidad de aumentar los rendimientos y la calidad de alimentos para satisfacer las demandas de las generaciones futuras (FAO, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola [FIDA], Programa Mundial de Alimentos [PMA], 2012).

En ALC, el 14% de los suelos se encuentran degradados, siendo más grave en Mesoamérica en donde afecta el 26% del territorio (FAO, 2014). La gestión sostenible del suelo se considera como una prioridad para contribuir a reducir la inseguridad alimentaria de la población, especialmente en aquellas regiones donde las personas son más vulnerables (FAO y GTIS, 2015). Sin embargo, la actual competencia por agua y tierra y el impacto del cambio climático en la producción de alimentos ponen en riesgo este objetivo (FAO, 2005). Los efectos actuales y anticipados del cambio climático amenazan fuertemente su uso y gestión. Estos incluyen cambios en los patrones de lluvias, incrementos en las temperaturas y mayor intensidad de eventos extremos, los cuales condicionan la productividad del sector agropecuario (IICA, 2016).

Las zonas subhúmedas y semiáridas de los países en vías de desarrollo de ALC están caracterizadas por poseer periodos impredecibles de lluvias, tanto dentro de las estaciones lluviosas o entre las mismas. En Honduras, más del 75% de la agricultura que se practica depende de las lluvias o no cuenta con infraestructuras para riego (FAO, 2005). Las sequías y altas temperaturas hacen que la humedad que contiene el suelo y que dejan las lluvias se evapore en pocos días. Esto pone en riesgo el desarrollo del cultivo, causando bajos rendimientos o la pérdida total del mismo (FAO, Secretaría de Agricultura y Ganadería-Gobierno de la República de Honduras [SAG], Agencia Española de la Cooperación Internacional para el Desarrollo [AECID], Programa Especial para la Seguridad Alimentaria [PESA], 2016). Reducir las pérdidas de agua por evaporación y escorrentía e incrementar su infiltración para el aprovechamiento del cultivo es posible gracias a la implementación de los principios de la agricultura de conservación.

M. maximus abunda en la zona de la Finca Agroecológica, sin embargo, no posee un uso específico, ocasionando que esta represente una maleza. Ante esta situación, se decidió evaluar su potencial aprovechamiento como un material de cobertura orgánico del suelo. El uso rastrojos derivados de material orgánico utilizados como una cobertura del suelo reducen la pérdida de humedad por evaporación. Sin embargo, la cantidad retenida variará en función de las propiedades físicas y químicas del suelo (Benites y Castellanos, 2003). El pasto guinea es una especie perenne perteneciente a la familia de las gramíneas que normalmente es utilizada como una fuente de alimento para el ganado. Tiene un sistema de crecimiento en macollos cuyos tallos erectos y hojas alargadas pueden alcanzar los tres metros de altura y un diámetro de 1.5 metros (Gélvez, 2018). Los objetivos de esta investigación se describen a continuación:

- Determinar el efecto del uso de rastrojos de *M. maximus* como material de cobertura en la temperatura del suelo y la retención de humedad.
- Analizar el efecto de la cobertura del suelo en el crecimiento vegetativo del cultivo de maíz.
- Estimar el rendimiento del cultivo de maíz del tratamiento con cobertura vegetal con respecto al suelo desnudo.

2. METODOLOGÍA

Localización del área de estudio.

El estudio se realizó en la Finca Agroecológica de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, durante los meses de junio a septiembre del 2018. Se encuentra localizada en la aldea de Santa Inés, Valle del Yegüare, municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras (Figura 1). Posee una superficie total de 40.03 hectáreas y está situada a 800 msnm (metros sobre el nivel del mar). La precipitación anual promedio es de 1,100 mm y la temperatura promedio anual es de 24 °C (Atao, 2016).

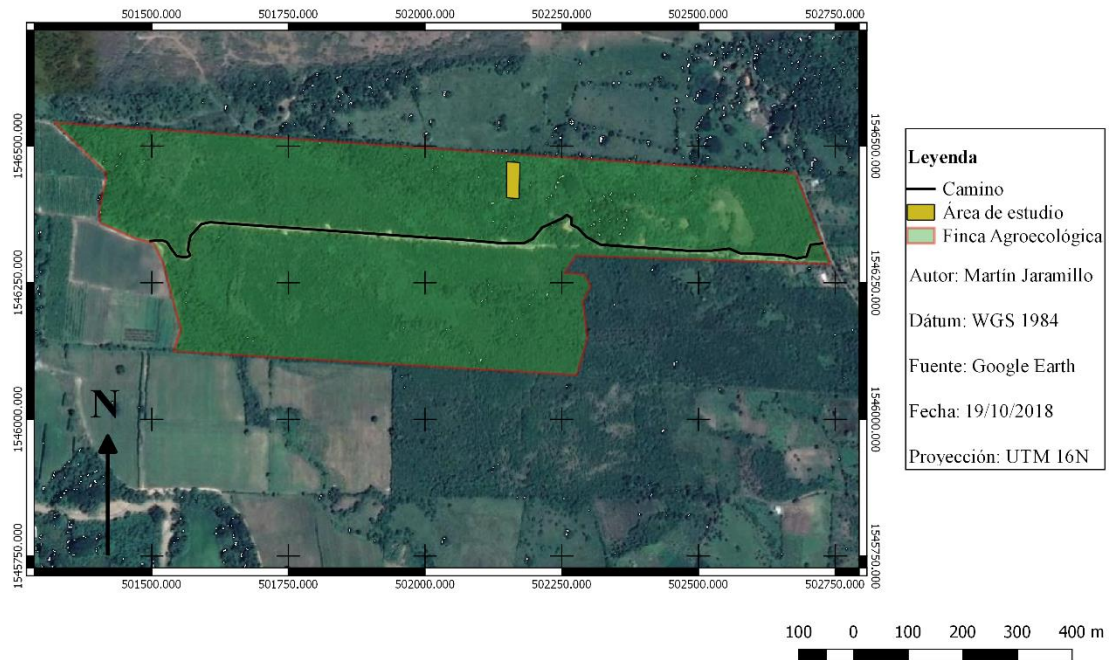


Figura 1. Ubicación de las parcelas experimentales y la Finca Agroecológica Zamorano.

Diseño experimental.

Se utilizó un diseño para muestras independientes donde se manejó un área de 1,300 m² (65 m × 20 m) y se evaluaron dos tratamientos: 1) suelos recubiertos con rastrojo *M. maximus* y 2) Suelos sin cobertura o desnudos, basados en prácticas de manejo tradicional y cultural que emplean pequeños productores de la zona. Para cada tratamiento se realizaron tres repeticiones, las cuales fueron distribuidas sistemáticamente en unidades experimentales de 200 m² (10 m × 20 m) con un distanciamiento de 1 m entre cada repetición (Figura 2).

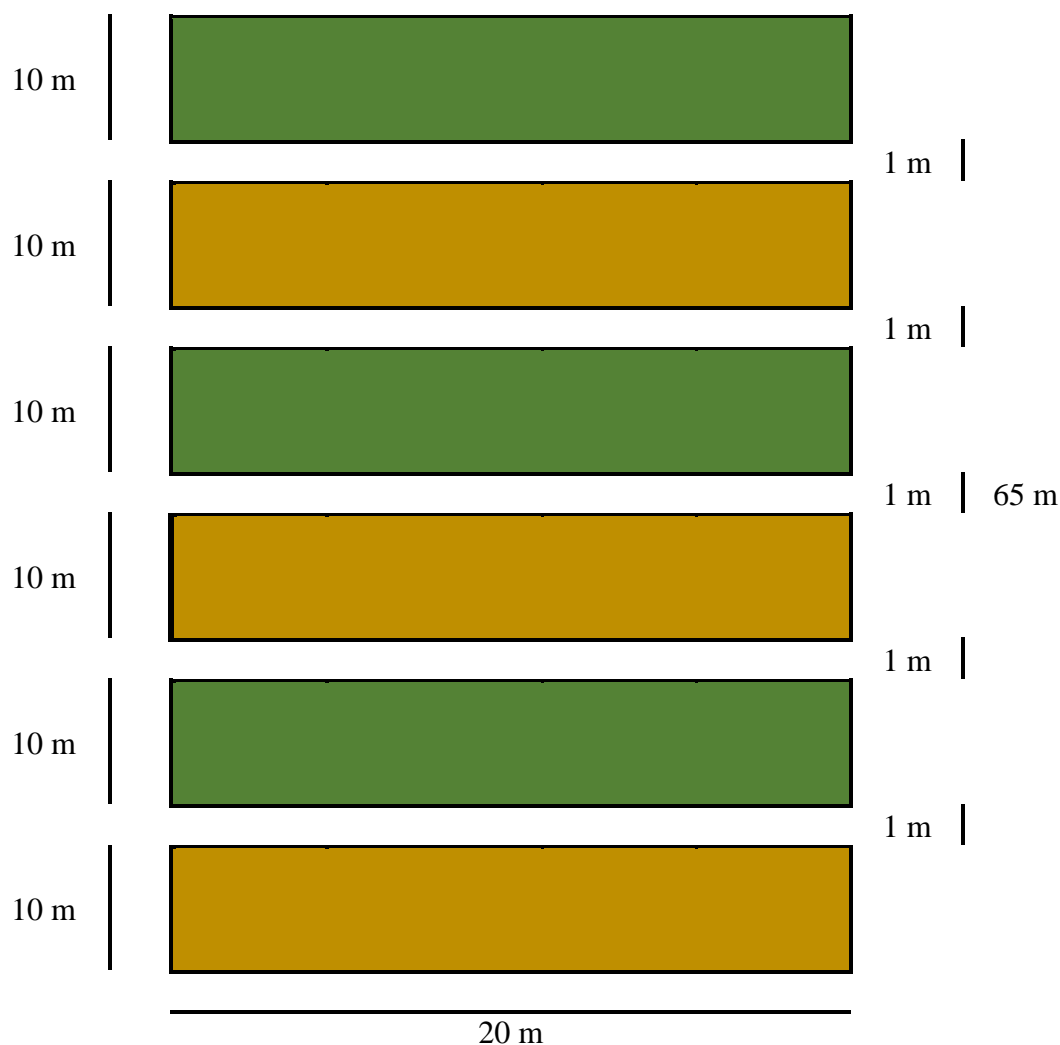


Figura 2. Distribución de los tratamientos en el área de estudio.

Establecimiento del cultivo.

Previo al establecimiento del cultivo y los tratamientos en las unidades experimentales se procedió a limpiar y retirar la maleza del área. El sistema de preparación del suelo empleado fue de labranza cero. La siembra del cultivo de maíz fue realizada el 10 de julio del 2018 y fueron empleadas semillas de la variedad Tuxpeño. En total se sembraron 9,630 semillas aproximadamente, distribuidas en 22 hileras de 65 metros cada una. Estas se sembraron directamente a una profundidad de 3 centímetros empleando un sembrador de chuzo. La densidad de siembra del cultivo (D.S.) se determinó a través de la ecuación 1.

$$\text{Densidad de siembra} = \frac{\text{Área del terreno}}{\text{DH} \times \text{DP}} \times \text{SP} \quad [1]$$

Donde:

Área del terreno = 1,300 m²

DH: Distancia entre hileras = 0.90 m

DP: Distancia entre posturas = 0.30 m

SP: Semillas por postura = 2 semillas

Análisis y descripción del suelo.

Las muestras de suelo se tomaron empleando un muestreo sistemático en diagonales, en donde para cada unidad experimental se recolectaron cinco muestras de suelo (Figura 3). Estas se obtuvieron haciendo uso de un barreno a una profundidad de 30 cm. Una vez recolectadas, se agruparon por unidad experimental, se homogenizaron y posteriormente se tomó una muestra representativa para cada una. Estas se enviaron al Laboratorio de Suelos Zamorano en donde se determinó su contenido nutricional y su textura. Este procedimiento se realizó con el fin de demostrar que el ensayo se estableció bajo las mismas condiciones de suelo.

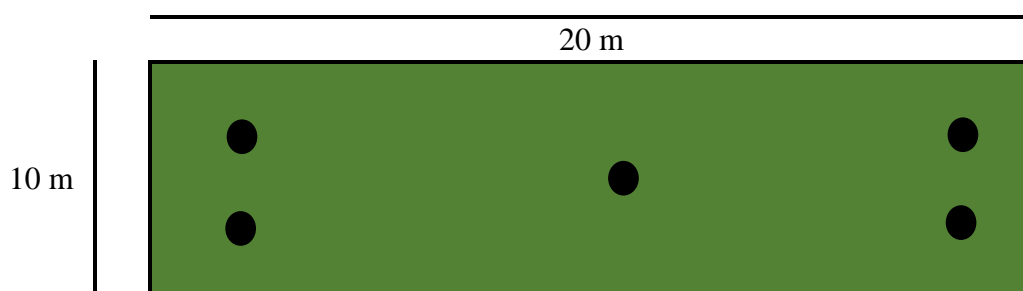


Figura 3. Distribución de las barrenaciones en las unidades experimentales.

Contenido nutricional. Los valores de Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na) se obtuvieron por espectrofotometría de absorción atómica haciendo uso de la solución extractora Mehlich 3. Por otro lado, el contenido de Fósforo (P) se determinó por colorimetría. Sus resultados fueron expresados en mg/Kg (Extractable). El porcentaje carbono orgánico (CO) se obtuvo a través del método de Walkley y Black para suelos minerales no salinos con incertidumbre de ± 0.04 . El porcentaje de materia orgánica (MO) se obtuvo a través del carbono orgánico (CO) al ser el 58% de este. El Nitrógeno total (N_{total}) se determinó a través de la materia orgánica al equivaler el 5% de esta. Sus resultados fueron expresados en g/100g. El pH se obtuvo a través de una dilución de 1:1 en agua: AOAC 994.16 con incertidumbre de ± 0.10 . Las propiedades químicas del suelo en ambos tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí ($P \leq 0.05$). El nivel de nutrientes presentes en el suelo fue homogéneo entre las unidades experimentales (Laboratorio de suelos Zamorano, 2018).

Propiedades físicas. La textura del suelo se determinó en laboratorio a través del método de Bouyoucus (Laboratorio de suelos Zamorano, 2018). Los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos indican que en el área de estudio domina la textura del suelo franco arenosa. El conocimiento de la dinámica de la materia orgánica del suelo (MOS) es esencial

para entender el flujo de carbono (C) y nitrógeno (N) en el suelo. Los suelos arenosos poseen una menor capacidad de retención de MOS en comparación a suelos arcillosos a pesar de haber sido sometidos al mismo tratamiento (Matus y Maire, 2000). Sin embargo, según Hassink y Withmore (1997) las tasas de mineralización del suelo no dependen de la textura ni del nivel de MOS, sino del déficit de saturación. Esto explicaría por qué en suelos con similar déficit de saturación y sometidos al mismo aporte y calidad de residuos orgánicos, sus tasas de mineralización sean similares, a pesar del amplio rango de texturas.

Efecto del tratamiento en las propiedades físicas del suelo.

Contenido de humedad y temperatura en el suelo. Para obtener los valores de humedad en el suelo se hizo uso de un sensor de capacitancia o humedad en suelos modelo SM150 y un lector de datos modelos HH150 (Delta T-Devices, 2018). La temperatura del suelo se midió haciendo uso de un termómetro análogo de suelos y la precipitación a través de un pluviómetro estándar. Los datos de temperatura ambiente fueron obtenidos en la unidad meteorológica de Zamorano.

En el centro de cada unidad experimental se estableció por conveniencia una sub unidad experimental de 5 m^2 ($5\text{m} \times 5\text{m}$). Su establecimiento se realizó con el fin de evitar que el efecto borde influyera en los resultados obtenidos. Para fines de muestreo, cada sub unidad experimental fue dividida en 25 bloques de 1 m^2 ($1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$) (Figura 4). Diariamente se seleccionó de forma aleatoria una sub parcela para muestreo en función del tratamiento. El sensor y el termómetro de suelos fueron insertados en el centro de los sub bloques seleccionados a una profundidad de 5 cm. Este procedimiento se realizó diariamente en horarios de 8:00 a.m. y 2:00 p.m.

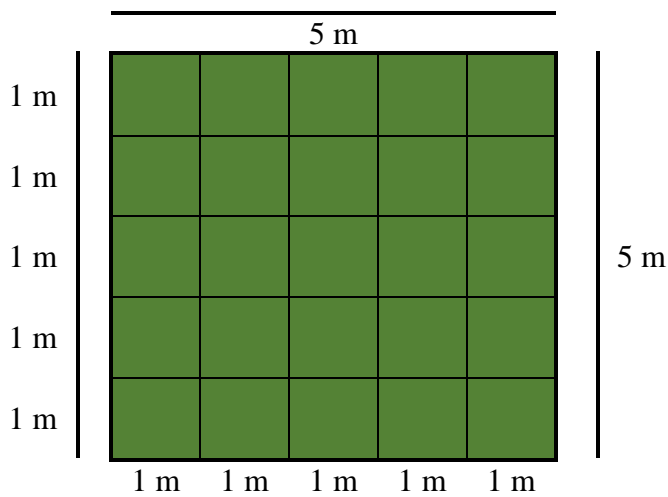


Figura 4. Sub parcelas experimentales para cada tratamiento.

Los datos de humedad en suelos obtenidos por el lector se midieron en mili voltios (mV). Posteriormente, estos fueron transformados a voltios (V) para conocer el contenido de humedad (θ) a través de la ecuación 2 para suelos minerales (Delta T-Devices Ltd, 2018):

$$\theta_{\text{ mineral }} = -0.0714 + 1.7190V - 3.7213V^2 + 5.8402V^3 - 4.3521V^4 + 1.2752V^5 \quad [2]$$

Efecto de la cobertura del suelo en el cultivo de maíz.

Crecimiento vegetativo. El crecimiento del cultivo se determinó midiendo la altura de la planta desde su base hasta la punta. Dicho procedimiento se realizó a los 15, 30 y 45 días después de siembra (DDS). En el área de estudio se seleccionaron sistemáticamente 5 surcos (2^{do}, 6^{to}, 11^{avo}, 16^{avo} y 21^{avo}). En cada uno se seleccionó por conveniencia cinco plantas en función del tratamiento (30 plantas por surco). Se muestrearon aquellas plantas que estaban distanciadas a un metro entre sí, con el fin de que el muestreo sea más homogéneo. Así mismo, se evitó seleccionar aquellas que estuvieran a un metro del límite de las unidades experimentales para evitar variaciones por el efecto borde.

Rendimiento del cultivo. Para estimar el rendimiento se seleccionó aleatoriamente uno de los cinco surcos utilizados en el muestreo de altura. En el surco se escogieron 20 plantas seguidas dependiendo del tratamiento. Se midió la distancia que había entre la primera y última planta y se cuantificó el número de espigas por cada una. Posteriormente se procedió con su cosecha para poder cuantificar el número de hileras por espiga y la cantidad de granos por una hilera. Se calculó el promedio de los datos obtenidos en función del tratamiento y se determinó su rendimiento a través de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\text{Granos}}{\text{Espiga}} = \text{Número de líneas} \times \left(\frac{\text{Número de granos}}{\text{Línea}} \right) \quad [3]$$

$$\frac{\text{Espigas}}{\text{Planta}} = \frac{\text{Espigas totales}}{\text{Plantas muestreadas por unidad experimental}} \quad [4]$$

$$\frac{\text{Granos}}{\text{Planta}} = \left(\frac{\text{Granos}}{\text{Espiga}} \right) \times \left(\frac{\text{Espigas}}{\text{Planta}} \right) \quad [5]$$

$$\text{Superficie muestreada} = [\text{Dist. entre surcos (cm)}] \times [\text{Dist. pl. 1 a pl. 20 (m)}] \times 0.01 \quad [6]$$

$$\frac{\text{Plantas}}{\text{m}^2} = \frac{\text{Plantas muestreadas por unidad experimental}}{\text{Superficie muestreada}} \quad [7]$$

$$\frac{\text{Granos}}{\text{m}^2} = \left(\frac{\text{Granos}}{\text{Planta}} \right) \times \left(\frac{\text{Plantas}}{\text{m}^2} \right) \quad [8]$$

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Ha}} \right) = \left(\frac{\text{Granos}}{\text{m}^2} \right) \times [\text{P1,000 (gr)} \times 0.01] \quad [9]$$

Donde:

P1,000 = Peso seco de 1,000 granos en gramos.

Para la obtención de este valor, fue necesario que las mazorcas atravesaran un proceso de secado, el cual se realizó en la planta de granos y semillas. Aquí la humedad del grano pasó de 33 a 11 por ciento.

Análisis estadístico. A los datos obtenidos de las variables de respuesta humedad, temperatura y rendimiento se les comprobó el supuesto de normalidad y homocedasticidad a través del gráfico de “QQplot” (residuales estandarizados versus los residuales predichos). Las variables donde no se obtuvo una distribución normal fueron transformados mediante el algoritmo Varident (Di Renzo et al., 2008). Seguidamente, los datos se analizaron mediante el módulo: Modelos Lineales Generales y Mixtos (MLGM) para las variables humedad y temperatura. Se utilizó como covariable la precipitación y la temperatura ambiente. Con respecto al rendimiento se aplicó un Análisis de Varianza (ANDEVA) de una vía. Para todas las variables de respuesta se aplicó LSD-Fisher para comparar las medias de cada uno de los factores, utilizando un nivel de significancia de 5% Los datos fueron procesados en el programa Infostat versión 2018.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura promedio en la Finca Agroecológica Zamorano durante los meses de junio a octubre varió entre 23 - 32 °C y la humedad relativa entre 71 - 84%. El cultivo de maíz tuvo un ciclo productivo de 90 días. La germinación total se obtuvo al tercer día después de siembra. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del efecto del uso de coberturas vegetales en las propiedades físicas del suelo (temperatura y humedad) en comparación a suelos desnudos.

Temperatura. La temperatura en la capa superficial del suelo (0 - 5 cm) fue significativamente diferente entre los tratamientos, los horarios y sus interacciones ($P \leq 0.05$) (Cuadro 1). A pesar de haber utilizado la covariable temperatura ambiente, si existió diferencias significativas en el horario de 8:00 a.m. y 2:00 p.m. (Cuadro 1). El modelo indicó que hubo un buen ajuste y que la variación de los tratamientos con respecto a la temperatura del suelo fue mínima. Lo anterior debido a que la desviación residual fue muy baja. El uso de rastrojos de pasto como material de cobertura permitió amortiguar las fluctuaciones de temperatura provocadas por la temperatura ambiente. Sin embargo, hubo diferencias significativas en la temperatura durante los horarios en donde fueron llevadas a cabo las mediciones en el suelo. La temperatura del suelo fue aumentando conforme lo hacía la temperatura ambiente a lo largo del día.

Cuadro 1. Resumen estadístico de la temperatura del suelo en función de los tratamientos evaluados.

	Temperatura del suelo (°C)		Sigma	Probabilidad
Tratamiento				
Suelo desnudo	28.66	a	0.6	$\leq 0.001^{***}$
Suelo con cobertura	26.08	b		
Horario				
Tarde	29.49	a	0.78	$\leq 0.0001^{***}$
Mañana	24.87	b		

Letra diferente en la misma columna indica diferencias significativas. ^{ns} No significativo. * Significativo al $P \leq 0.05$. ** Significativo al $P \leq 0.01$. *** Significativo al $P \leq 0.001$.

Los resultados muestran que existe un efecto regulador de la temperatura del suelo bajo el efecto de la cobertura de rastrojo de *M. maximus*. Su implementación permitió mantener temperaturas menores en el suelo a lo largo del día en comparación a los suelos desnudos. Los resultados obtenidos coinciden con Walsh, Mackenzie, Salmis y Buszard (1996),

quienes afirman que el uso del pasto como un material de cobertura del suelo mantiene temperaturas más bajas y constantes en comparación a los suelos desnudos. De igual forma coinciden con Leal (2007), quien concluyó que recubrir el suelo con residuos orgánicos amortigua las fluctuaciones de temperatura en sus picos máximos y mínimos, principalmente en los primeros 15 cm de profundidad. Asimismo, Stinson, Brinen, McConnell y Black (1990) concluyeron que el uso de acolchados orgánicos permite mantener temperaturas más bajas durante el verano en comparación a suelos desnudos. No obstante, el efecto del acolchado en la temperatura del suelo depende de las características del material utilizado (Robinson, 1998). Yang, Liu y Li (2006) concluyeron que la temperatura en suelos recubiertos con paja fue menor tanto en días soleados y nublados en comparación a la temperatura de suelos con acolchado plástico.

Humedad. La humedad en la capa superficial del suelo (0 - 5 cm) fue significativamente diferente entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). Sin embargo, no hubo pérdidas significativas en la humedad del suelo cuando se realizaron las mediciones en diferentes horarios. De igual forma, la interacción de los tratamientos y los horarios no fue significativa (Cuadro 4). Lo último debido a que se utilizó como covariable la precipitación, disminuyendo la variación del horario entre la mañana y la tarde. La desviación residual baja del modelo permite explicar la variación de los tratamientos con respecto a la temperatura del suelo. El uso de coberturas de rastrojo de *M. maximus* permitió conservar una mayor humedad en el suelo en comparación a los suelos desnudos. Sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas en la humedad de los suelos a lo largo del día por acción de la lluvia.

Cuadro 2. Resumen estadístico en la humedad del suelo en función de los factores evaluados y su interacción.

	Humedad del suelo (θ)	Sigma	Probabilidad
Tratamiento			
Suelo con cobertura	26.09 a	8.98	$\leq 0.005^{***}$
Suelo desnudo	22.75 b		
Horario			
Tarde	25.08 a	916	$\leq 0.3332^{ns}$
Mañana	23.77 a		

Letra diferente en la misma columna indica diferencias significativas. ^{ns} No significativo.

* Significativo al $P \leq 0.05$. ** Significativo al $P \leq 0.01$. *** Significativo al $P \leq 0.001$.

Los resultados obtenidos coinciden con Stewart (2005), quien obtuvo un mayor contenido de humedad en suelos con coberturas de pasto en comparación a suelos desnudos. Así mismo, Dong, Li, Wei y Zhang (2008) concluyeron que las coberturas orgánicas conservan significativamente la humedad del suelo en la capa superficial (0 - 5 cm) en comparación con suelos desnudos. Usar materiales orgánicos como mulch permite una mayor retención del contenido de humedad en los suelos al reducir el porcentaje de evaporación superficial (Downer y Hodel, 2001). Zribi, Faci y Aragüés (2011) afirmaron que el uso de residuos vegetales como material de cobertura en el suelo reduce la evaporación al reducir al mínimo

el flujo de aire en la superficie y la cantidad de energía radiante absorbida en la superficie. Sin embargo, la capacidad que los residuos orgánicos poseen para reducir el porcentaje de humedad que se pierde depende principalmente de las características del material a usar (Díaz et al., 2005). Hogue y Nielsen (1987) concluyeron que los acolchados orgánicos son más eficientes para conservar humedad, en comparación a los acolchados inorgánicos. Sus resultados coinciden con Yang et al. (2006), quienes concluyeron que el uso de paja de trigo en un cultivo de cacahuete mantenía una humedad en el suelo ligeramente mayor que el acolchado de lámina plástica y sensiblemente superior a la humedad del suelo desnudo.

Efecto de los tratamientos en el cultivo. A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en los nutrientes del suelo, el análisis muestra que el contenido de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) en el suelo se encontraban fuera del rango óptimo. Asimismo, se encontró que el contenido de Potasio (K) era muy elevado. La absorción de estos nutrientes es un proceso relevante en la planta al estar implicados en diversas funciones fisiológicas en las que son irremplazables. Sin embargo, las deficiencias de N afectan principalmente su acumulación en las plantas desde etapas tempranas (Arias, 2016). El nitrógeno es absorbido a través de las raíces en forma de nitrato (NO_3) y amonio (NH_4) y transportado a las vacuolas de las hojas en forma de aminoácidos (Uhart y Echeverría, 1996). Las etapas fisiológicas en las cuales se necesita mayor absorción de este compuesto son antes y durante producción de granos (García y Espinoza, 2009). Deficiencias de nitrógeno afectan el crecimiento del cultivo y sus rendimientos (FAO, 2018).

Crecimiento del cultivo. El crecimiento del cultivo fue significativamente diferente entre tratamientos ($P \leq 0.05$). Las plantas de maíz presentaron mayores alturas a lo largo de su ciclo en las unidades experimentales en donde se aplicó rastrojos de pasto como cobertura del suelo (Cuadro 6). El coeficiente de variación nos indica que hubo un buen manejo del experimento a causa del poco error experimental. Respecto al R^2 un alto porcentaje del crecimiento es producido por los tratamientos.

Cuadro 3. Diferencias en altura del cultivo de maíz en función de los tratamientos.

Tratamiento	Altura (cm)					
	Día 15		Día 30		Día 45	
Suelo con cobertura	22.00	a	54.33	a	144.00	a
Suelo desnudo	17.67	b	46.33	b	134.00	b
Probabilidad	≤ 0.0390		≤ 0.0200		≤ 0.0001	
CV	5.45		2.81		2.54	
R^2	0.82		0.90		0.98	

Letra diferente en la misma columna indica diferencias significativas. ^{ns} No significativo.
 * Significativo al $P \leq 0.05$. ** Significativo al $P \leq 0.01$. *** Significativo al $P \leq 0.001$.

Los resultados obtenidos coinciden con Richards (1983), quien concluyó que el uso de coberturas orgánicas proporciona un ambiente ideal para el desarrollo de las raíces que es esencial para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Asimismo, Dong et al. (2008) afirman que el mantener la humedad en el suelo por el uso de acolchados favorece a una

buena emergencia y establecimiento del cultivo. Tolk, Howell y Evett (1999) encontraron valores más altos de índice de área foliar (IAF) en cultivos con coberturas en comparación a suelos desnudos. Un contenido mayor de humedad disponible es empleado por la planta para transpirar y por consiguiente se genera un mayor crecimiento.

Rendimiento del cultivo. El rendimiento del cultivo fue significativamente diferente entre tratamientos ($P \leq 0.05$). En las unidades experimentales en las que se aplicó rastrojos de pasto guinea como cobertura del suelo se midieron mayores rendimientos en comparación a aquellas en donde se aplicó el tratamiento de suelo desnudo (Cuadro 7).

Cuadro 4. Rendimiento del cultivo en función de los tratamientos.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)
Suelo con cobertura	7,358 a
Suelo sin cobertura	4681 b
Probabilidad	≤ 0.0054 *
CV	4.01
R ²	0.97

Letra diferente en la misma columna indica diferencias significativas. ^{ns} No significativo.
 * Significativo al $P \leq 0.05$. ** Significativo al $P \leq 0.01$. *** Significativo al $P \leq 0.001$.

La absorción de nutrientes y la producción de fotosintatos para la formación y llenado de la semilla son afectados cuando la planta sufre de estrés hídrico (Escalante, 1999). De igual forma, Nielsen y Hansen (2004) concluyeron que utilizar rastrojos derivados de alfalfa como material de cobertura contribuyó en el aumento los minerales disponibles en el suelo, mejorar la actividad microbiana y el desarrollo de raíces, afectando positivamente al crecimiento y rendimiento de los cultivos.

4. CONCLUSIONES

- Los rastrojos derivados de pasto guinea como un material de cobertura en el suelo permiten amortiguar los cambios de temperatura en 2.51 °C y reducir la evaporación de agua en suelos pocos sombreados.
- La conservación de humedad mediante al uso de una cobertura vegetal en el suelo proporciona las condiciones para alcanzar un mayor crecimiento promedio de 5-10 cm en el cultivo de maíz en comparación a aquellos que se desarrollaron en suelos descubiertos.
- Se estima que el rendimiento del cultivo de maíz es mayor en el tratamiento donde se aplicó rastrojos derivados de pasto guinea, el cual superó en 2.67 kg/ha a los cultivos que se desarrollaron en suelos descubiertos. El mantener un mayor contenido de humedad en el suelo permite que haya una mayor disponibilidad de nutrientes.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis de beneficio/costo con sus respectivos indicadores, con el fin de determinar si la adopción de rastrojos como coberturas del suelo son rentables para pequeños productores.
- Evaluar diferentes densidades de rastrojo de pasto para medir el efecto a lo largo del tiempo en las propiedades físicas y químicas del suelo, respuesta del cultivo de maíz y la actividad microbiológica del suelo.
- Evaluar diferentes tipos de residuos orgánicos producidos en la Finca Agroecológica como materiales de cobertura y sus efectos en el suelo y el cultivo de maíz.
- Evaluar el efecto del rastrojo en diferentes tipos de suelo de fincas de pequeños productores de la zona y su efecto en otro cultivo.

6. LITERATURA CITADA

- Arias, L. (2006). *Deficiencias de fósforo y potasio en maíz, Efectos sobre el área foliar, crecimiento y absorción de nutrientes*. Buenos Aires: FAUBA.
- Atao, F. (Noviembre de 2016). *Composición Florística de arustos de la finca Agroecológica de Zamorano, Valle del Yegüare, Honduras*. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5716/1/IAD-2016-003.pdf>
- Benítez, J., & Castellanos, A. (Septiembre de 2003). Mejorando la humedad en el suelo con agricultura de conservación. *LEISA Revista de Agroecología*, 19 (2), 5-6. Recuperado de <http://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol19n2.pdf>
- Ciampitti, I. A., Camberato, J. J., Murrel, S. T., & Vyn, T. J. (2013). Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: I. Macronutrients. *Agronomy Journal*, 783-795.
- Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). (7 de Septiembre de 2018). *Recurso suelo*. Recuperado de Corporación Autónoma Regional del Cauca: <http://www.crc.gov.co/index.php/ambiental/recursos/recurso-suelo>
- Delta T-Devices Ltd. (2018). *Delta T-Devices*. Recuperado de SM150 Kit: <https://www.delta-t.co.uk/product/sm150-kit/>
- Di Renzo, J., Casanoves, F., Gonzales, L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C., & Balzarini, M. (2008). *Estadística para las Ciencias Agropecuarias*. Argentina: Editorial Brujas.
- Díaz, F., Jiménez, C. C., & Tejedor, M. (30 de Mayo de 2005). Influence of the thickness and grain size of tephra mulch on soil water evaporation. *Agricultural Water Management*, 74(1), 47-55.
- Do Prado, L., & Da Veiga, M. (1993). *Erosión y pérdida de fertilidad del suelo*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de Erosión y pérdida de fertilidad en el suelo: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm>
- Dong, H., Li, W., Wei, T., & Zhang, D. (2008). Furrow Seeding with Plastic Mulching Increases Stand Establishment and Lint Yield of Cotton in a Saline Field. *Agronomy Journal*, 100, 1640-1646.
- Downer, J., & Hodel, D. (5 de Enero de 2001). The effects of mulching on establishment of *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Becc., *Washingtonia robusta* H. Wendl. and *Archontophoenix cunninghamiana* (H. Wendl.) H. Wendl. & Drude in the landscape. *Scientia Horticulture*, 87(1-2), 85-92.

- Escalante Estrada, J. A. (Junio de 1999). Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 17, 149-157.
- García, J. P., & Espinoza, J. (2009). Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones Agronómicas*, 1-5. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/F6C2CDE6735C18CF852579A0006B1E93/\\$FILE/Efecto%20del%20Fraccionamiento%20de%20Nitr%C3%B3geno%20en%20la%20Productividad%20pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/F6C2CDE6735C18CF852579A0006B1E93/$FILE/Efecto%20del%20Fraccionamiento%20de%20Nitr%C3%B3geno%20en%20la%20Productividad%20pdf)
- Gélvez, L. (2018). *Mundo Pecuario*. Recuperado de Pastos y forrajes: Pasto Guinea (*Panicum maximum*): http://mundo-pecuario.com/tema191/gramineas/pasto_guinea-1057.html
- Hassink, J., & Whitmore, A. (1997). A Model of the Physical Protection of Organic Matter in Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 131-139.
- Hogue, E. J., & Neilsen, G. H. (1987). Orchard Floor Vegetation Management. *Horticultural Reviews*, 9, 377-430.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2016). *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. Recuperado de Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático: sistematización del ciclo de foros virtuales en el marco del Año Internacional de los Suelos (AIS) 2015: <http://repiica.iica.int/docs/B3982E/B3982E.PDF>
- Laboratorio de suelos Zamorano. (2018). *Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo*. Francisco Morazán: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Leal, G. (2007). *Influence of reflective mulch on Pinot noir grape and wine quality*. Nueva Zelanda: Lincoln University.
- Matus, F. J., & Maire, C. R. (2000). Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasa de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*, 60, 112-126. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000200003>
- Naciones Unidas (UN). (2018). *Alimentación*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2018, de Naciones Unidas: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/food/index.html>
- Nielsen, B., & Hansen, H. (2004). Effect of grape pomace rich in flavonoids and antioxidants on production parameters in dairy production. *Animal Feed Science*, 535-538.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2005). Capítulo 3. Agua de lluvia, productividad de la tierra y sequía. En F. Shaxson, & R. Barber, *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal - El significado de la porosidad del suelo*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal - El

significado de la porosidad del suelo: <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s00.htm#Contents>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (12 de Abril de 2014). *América Latina y el Caribe lanza el Año Internacional de los suelos*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2018, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/es/c/271092/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (19 de Febrero de 2015). *Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *¿Qué es el suelo?* Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Grupo Técnico intergubernamental de Suelos (GTIS). (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) - Resumen Técnico*. Roma, Italia: Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Grupo Técnico: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) y Programa Mundial de Alimentos (PMA). (2012). *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. El crecimiento económico es necesario pero no suficiente para acelerar la reducción del hambre y la malnutrición*. Roma: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG), Agencia Española de la Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), Programa Especial para Seguridad Alimentaria (PESA). (2005). *Manejo de humedad del suelo en zonas secas*. Recuperado de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/3/a-at780s.pdf>
- Robinson, D. (1998). Mulches and herbicides in ornamental plantings. *HortScience (USA)*, 23, 547-552.
- Stewart, D. (2005). *The effect of soil and irrigation management on grapevine performance*. Australia: University of Adelaide.
- Stinson, J., Brinen, G., McConnell, D., & Black, R. (1990). Evaluation of landscape mulches. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 103, 372-377.

- Tolk, J., Howell, T. A., & Evett, S. (1999). Effect of mulch, irrigation, and soil type on water use and yield of maize. *Soil and Tillage Research*, 50 (2), 137 - 147.
- Troeh, F., & Thompson, L. (2002). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona: Editorial REVERTÉ, S.A.
- Walsh, B. D., Mackenzie, A. F., Salmins, S., & Buszard, D. J. (1996). Impact of soil management systems on organic dwarf orchards and soil aggregate stability, bulk density, temperature and water content. *Canadian Journal of Soil Science* (76), 203-209.
- Yang, Y. M., Liu, X. J., Li, W. Q., & Li, C. Z. (2006, Noviembre). Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilonggang region of North China. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B - Biomedicine & Biotechnology*, 7(11), 858-867.
- Zribi, W., Faci, J. M., & Aragüés, R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Información Técnica Económica Agraria*, 107, 148-162. Recuperado de https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/1796/1/2011_411.pdf

7. ANEXOS

Anexo 1. Contenido nutricional en el suelo del área de estudio en la Finca Agroecológica, Zamorano.

Tratamiento	Repetición	pH* (H ₂ O)	g/100g			mg/Kg (extractable)				
			C.O.	M.O.	N _{total}	P	K	Ca	Mg	Na
T1	R1	5.79	1.61	2.78	0.14	4	279	551	109	ND
	R2	5.80	1.66	2.86	0.14	5	293	626	124	4
	R3	5.34	1.80	3.10	0.16	3	225	580	99	10
T2	R1	5.52	1.54	2.65	0.13	5	203	495	88	ND
	R2	5.36	1.28	2.21	0.11	3	184	325	69	ND
	R3	5.75	1.65	2.84	0.14	4	270	783	137	23

ND: No detectado

Rango Medio	2.00	0.20	13	Saturación de bases
	4.00	0.50	30	

	Bajo
	Medio
	Alto

Anexo 2. Diferencias en el contenido nutricional del suelo entre unidades experimentales.

Tratamientos	Nutrientes							
	pH	C.O	M.O	N _{total}	P	K	Ca	Mg
Probabilidad	0.6252	0.1808	0.1740	0.1447	>0.99	0.2339	0.7239	0.0800
Sigma	0.26	0.1	0.17	0.01	1	35.91	37.82	12.58

Anexo 3. Textura del suelo en el área de estudio entre unidades experimentales.

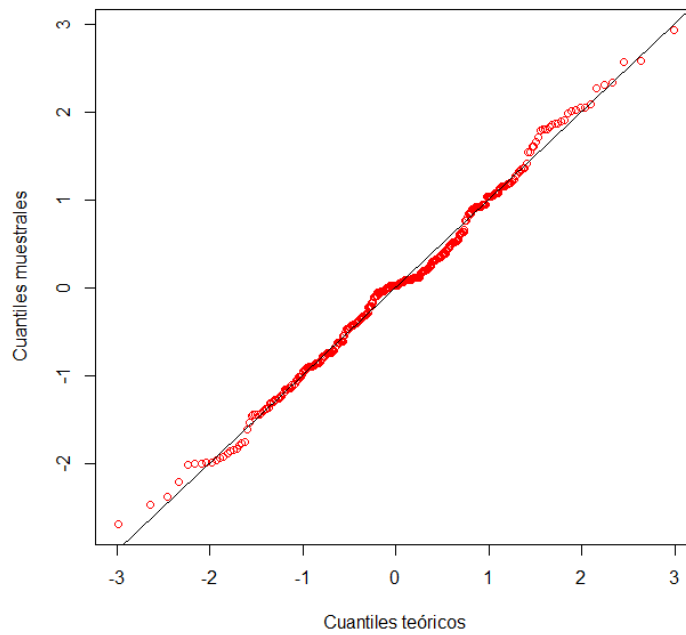
Tratamiento	Repetición	Textura	g/100g		
			Arena	Limo	Arcilla
Suelo con cobertura	R1	5.79	64.00	20.00	16.00
	R2	5.80	64.00	22.00	14.00
	R3	5.34	54.00	26.00	20.00
Suelo desnudo	R1	5.52	70.00	18.00	18.00
	R2	5.36	70.00	16.00	16.00
	R3	5.75	46.00	34.00	34.00

Anexo 4. Distribución de la textura del suelo en el área de estudio.

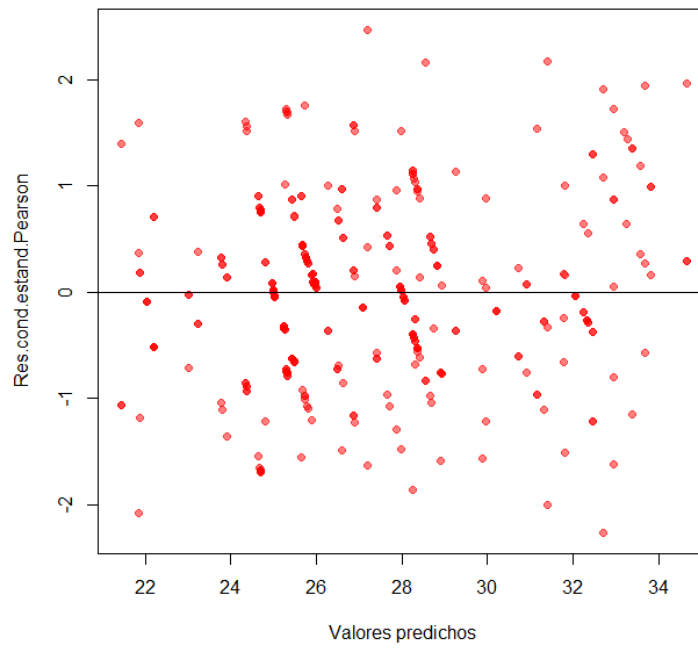
Textura del suelo	Área (m ²)	Área (%)
Franco arenosos	1,000	83
Franco	200	17

Tratamiento	Repetición	Rendimiento estimado (kg/Hectárea)	Rendimiento estimado (kg/Sup. Muestreada)
Suelo con cobertura	R1	7,435	967
	R2	7,486	913
	R3	7,153	930
Suelo desnudo	R1	4,783	622
	R2	4,456	579
	R3	4,804	623

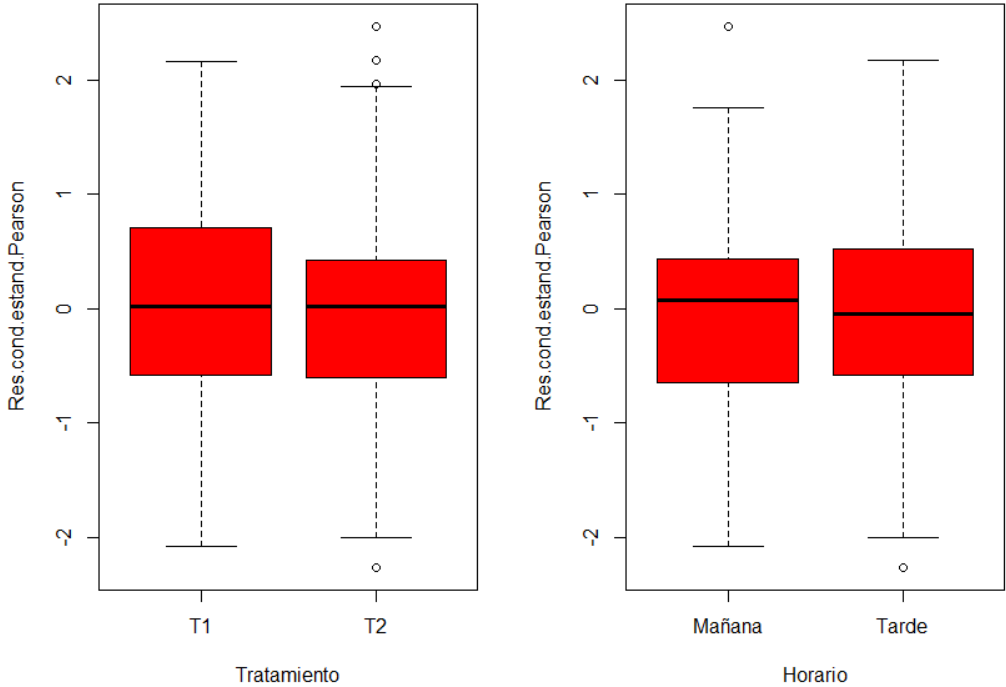
Anexo 5. Gráfico de normalidad del modelo para temperatura y humedad.



Anexo 6. Gráfico de homogeneidad de la varianza del modelo para temperatura y humedad.



Anexo 7. Gráfico de cajas y bigotes para comprobar la homocedasticidad entre los tratamientos.



Anexo 8. Sensor de humedad en suelos SM150 y lector de datos HH150.

