

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Caracterización de la capacidad de retención de agua de cinco lotes
contrastantes en manejo en Zamorano

Estudiante

Francis Johan Rios Morantes

Asesores

Ricardo Alexander Peña Venegas Ph.D.

Wilmer Pineda Ing. Agrónomo

Honduras, Noviembre 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

JULIO NAVARRO

Secretaría General

Contenido

Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Materiales y Métodos	14
Diseño y Establecimiento del Experimento	14
Localización	14
Establecimiento del Experimento	15
Toma de Muestras Disturbadas	15
Toma de Muestras Indisturbadas	16
Mediciones.....	17
Determinación de la Retención de Humedad.....	17
Densidad Aparente	18
Humedad Gravimétrica.....	18
Humedad Volumétrica	18
Materia Orgánica	18
Textura	19
Análisis Estadístico	19
Resultados y Discusión.....	20
Humedad Volumétrica a 0 kPa.....	21

	4
Humedad Volumétrica a 33 kPa	23
Humedad Volumétrica a 50 kPa	25
Conclusiones	27
Recomendaciones	28
Referencias.....	29
Anexos.....	32

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Análisis de varianza del efecto del uso del suelo en la materia orgánica (MO), densidad aparente (DA) y sus porcentajes de arena (A), limo (L) y arcilla (Ar) para caracterización de la capacidad de retención de agua de cinco lotes contrastantes en manejo en Zamorano, Honduras.	21
--	----

Índice de Figuras

Figura 1 Lotes muestreados para caracterización de la capacidad de retención de agua de lotes contrastantes en manejo en Zamorano.....	15
Figura 2 Toma de muestras para caracterización de la capacidad de retención de agua de cinco lotes contrastantes en manejo en Zamorano.....	17
Figura 3 Efecto del uso de la tierra en la capacidad de retención de humedad del suelo. Humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a punto de saturación (0 kPa). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC), Zamorano, Honduras. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$	22
Figura 4 Efecto del uso de la tierra en la capacidad de retención de humedad del suelo. Humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a punto de 33 kPa. Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC), Zamorano, Honduras. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$	25
Figura 5 Efecto del uso de la tierra en la capacidad de retención de humedad del suelo. Humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a punto de saturación (50 kPa). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC), Zamorano, Honduras. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$	26

Índice de Anexos

<p>Anexo A Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de Materia orgánica (%). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras d diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.....</p>	32
<p>Anexo B Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de densidad aparente ($g\ cm^{-3}$). Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de densidad aparente ($g\ cm^{-3}$). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.....</p>	33
<p>Anexo C Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de arena (%). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.</p>	34
<p>Anexo D Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de limo (%). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.</p>	35
<p>Anexo E Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de arcilla (%). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.</p>	36
<p>Anexo F Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a tensión de 0 KPa. Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN),</p>	

producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$	37
Anexo G Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a tensión de 33 KPa. Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$	38
Anexo H Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a tensión de 50 KPa. Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$	39
Anexo I Prueba de normalidad para agricultura orgánica con sus tensiones (KPa).....	40
Anexo J Prueba de normalidad para frutales con sus tensiones (kPa).....	41
Anexo K Prueba de normalidad para bosque natural con sus tensiones (kPa).....	42
Anexo L Prueba de normalidad para manejo convencional con sus tensiones (kPa)	43
Anexo M Prueba de normalidad para pasturas cultivadas con sus tensiones (kPa).....	44
Anexo N Pruebas de homocedasticidad para los usos de suelo a dos profundidades	45

Resumen

La capacidad de retención de agua es fundamental para la sostenibilidad agrícola, especialmente frente al cambio climático. En este estudio, se caracterizó esta capacidad en cinco tipos de suelo con distintos usos en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano: bosque natural, monocultivo, frutales, pastura y agricultura orgánica, con el propósito de comparar el efecto del uso del suelo sobre la retención de humedad en varias tensiones. Para ello, se diseñó un estudio cuasiexperimental en el cual se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm). Las muestras fueron analizadas en laboratorio para evaluar la retención de humedad a tensiones de 0, 33 y 50 kPa. Asimismo, se aplicaron análisis de varianza para comparar las medias de los diferentes tipos de suelo. Los resultados indicaron que los suelos de bosque y agricultura orgánica presentaron mayores niveles de materia orgánica y mejor retención de humedad a 0 kPa en la capa superficial, en comparación con los suelos de monocultivo, los cuales mostraron mayor compactación y menor capacidad de retención de agua. No obstante, a tensiones de 33 y 50 kPa no se observaron diferencias significativas en retención de humedad, lo que sugiere que en estos niveles la retención depende más de la textura del suelo. Estos hallazgos destacan la influencia del manejo del suelo sobre su capacidad hídrica y subrayan que prácticas conservacionistas mejoran la retención de agua y la salud del suelo, promoviendo así una agricultura más sostenible.

Palabras clave: Compactación, humedad del suelo, manejo, materia orgánica, textura

Abstract

Water retention capacity is fundamental for agricultural sustainability, especially in the face of climate change. In this study, this capacity was characterized in five soil types with different uses at the Zamorano Panamerican Agricultural School: natural forest, monoculture, fruit trees, pasture, and organic agriculture, with the purpose of comparing the effect of soil use on moisture retention in various stresses. For this purpose, a quasi-experimental study was designed in which soil samples were taken at two depths (0-20 cm and 20-40 cm). The samples were analyzed in the laboratory to evaluate moisture retention at stresses of 0, 33 and 50 kPa. Analyses of variance were also applied to compare the means of the different soil types. The results indicated that forest and organic agriculture soils showed higher levels of organic matter and better moisture retention at 0 kPa in the surface layer, compared to monoculture soils, which showed greater compaction and lower water retention capacity. However, at tensions of 33 and 50 kPa, no significant differences in moisture retention were observed, suggesting that at these levels retention depends more on soil texture. These findings highlight the influence of soil management on its water capacity and emphasize that conservation practices improve water retention and soil health, thus promoting a more sustainable agriculture.

Key words: Compaction, management, organic matter, soil moisture, texture.

Introducción

La superficie mundial dedicada a la agricultura es de aproximadamente 5,000 mega hectáreas de extensión, un tercio de la superficie de tierra mundial. A medida que la población global continúa expandiéndose, con proyecciones que sugieren que podría alcanzar los 9.7 billones para el año 2050, se ha generado una creciente necesidad de alimentos. No obstante, este aumento poblacional también ha intensificado la presión sobre los suelos, un recurso finito, y ha disminuido la disponibilidad de tierras cultivables (Food and Agriculture Organization [FAO], 2020).

La capacidad de los suelos para mantener una alta productividad, sin perder sus propiedades físicas, se ha convertido en un tema crucial, especialmente cuando se trata de su capacidad para retener agua, un factor determinante para el éxito de los sistemas agrícolas sostenibles en el contexto del cambio climático (Pradilla, 2016). El suelo, por lo tanto, es un conjunto compuesto de diversos elementos, entre ellos la materia orgánica, partículas minerales, aire, agua y organismos vivos, lo cual lo convierte en un sistema dinámico. Su capacidad de retener agua depende de diversos factores entre ellos: textura, estructura y porosidad (Frene et al., 2024).

Los suelos arcillosos poseen partículas más pequeñas y en consecuencia una superficie específica más grande; por ello tienden a retener mayor cantidad de agua gracias a su capacidad de atracción y retención de moléculas (Rucks et al., 2004). Por otro lado, los suelos arenosos tienen partículas más grandes, por ende, poros de gran tamaño, lo cual permite una mayor tasa de infiltración, pero también una menor retención de agua. Además, la materia orgánica tiene un papel importante en la retención y absorción de agua, y por otra parte, mejora la estructura del suelo, acción que logra por medio de la formación de agregados estables (Delgadillo y Pérez, 2016). Suelos con mayor cantidad de materia orgánica tienden a exhibir una mayor capacidad de almacenamiento de agua (Nath, 2014).

La capacidad de retención de agua del suelo es esencial para la conservación del medio ambiente y la resiliencia de los sistemas de producción frente al cambio climático, ya que de esto

depende no solo el crecimiento de las plantas, sino también el ciclo hidrológico (Grimm y Fassbender, 1981). Suelos que retienen adecuadamente el agua contribuyen a la biodiversidad y a la estabilidad de los ecosistemas, al mantener la humedad y con ello, facilitar el suministro de nutrientes a las plantas (Gubiani et al., 2024). La capacidad de retención de humedad de un suelo se ve influenciada por factores como la textura, estructura, densidad aparente y el contenido de materia orgánica del suelo, así también como el manejo al que ha sido sometido, que también la puede afectar significativamente (Bejar et al., 2020).

La compactación es un problema frecuente en áreas de agricultura intensiva como los monocultivos, que reduce la porosidad del suelo y, en consecuencia, su capacidad para infiltrar y retener agua, esto repercute en la disponibilidad de nutrientes y en la salud de los ecosistemas del suelo, comprometiendo la productividad agrícola (Shaheb et al., 2021). Por otro lado, los sistemas de manejo bajo pastizales suelen tener una retención de agua limitada en función del tipo de manejo implementado y el grado de compactación presentes, mientras que, los sistemas de producción de baja intervención como frutales, sistemas agroforestales o bosques se tienden a tener una mejor capacidad de infiltración comparada con los monocultivos, debido principalmente a una mayor acumulación de materia orgánica (Salamanca y Sadeghian, 2006).

El conocimiento de la humedad del suelo es esencial para los agricultores, ya que les ayuda a comprender y predecir los patrones de crecimiento de las plantas, y a mejorar la eficiencia del uso del agua, lo cual tiene un impacto sobre la productividad de los cultivos (Ngo-Cong et al., 2021). Las curvas de retención de humedad son una herramienta clave en el manejo de suelos, ya que son un indicador de salud del suelo y permiten la comprensión de cómo se almacena el agua entre sus poros y como está resulta disponible para la planta, estas curvas pueden proporcionar información crucial para la planificación de un riego, además, de potenciar la conservación de suelos. Por lo tanto, repercute en la capacidad que tiene para soportar la vida terrestre (Acosta y Pineda, 2019).

La capacidad de retención de agua en el suelo se caracteriza a través de tres constantes: a) el punto de saturación, donde el agua ocupa todo el espacio entre las partículas de suelo, b) la capacidad de campo, que es el agua presente en el suelo luego del drenaje por gravedad y, c). el punto de marchitez permanente, el cual marca el límite en donde al agua presente entre los poros del suelo no es aprovechable para las plantas. La diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente se conoce como agua disponible, la cual es fundamental para la agricultura, pues determina el agua que realmente es accesible para las plantas (Mir y Alegre, 2005).

Este estudio tiene como objetivo caracterizar la capacidad de retención de agua en cinco suelos bajo distintos manejos en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, con el fin de promover el manejo sostenible del recurso hídrico y del suelo. Por ello, se propuso la hipótesis de que los suelos sometidos a sistemas de manejo más conservacionistas, como el bosque o la agricultura orgánica, presentarán una mayor capacidad de retención de agua que aquellos bajo monocultivos intensivos o pastos degradados.

Materiales y Métodos

Diseño y Establecimiento del Experimento

Localización

El estudio fue realizado en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada a una altitud de 800 metros sobre el nivel del mar. El clima en esta región se caracteriza por tener una temperatura promedio anual de 24°C y una precipitación que oscila entre 1100 mm al año (Jimenez, 2020). El campus cuenta con una humedad relativa del 65%, lo que lo ubica como un clima cálido seco. El comportamiento de las lluvias es de tipo bimodal, caracterizado por dos períodos bien definidos: El primer periodo está comprendido de mayo a septiembre y el segundo periodo está comprendido de octubre a noviembre.

El área de estudio se compone de 5 lotes que se utilizan para diferentes propósitos. Estos lotes son los siguientes: Lote de ganado, ubicado en las coordenadas 14°00'14''N 86°59'55''W; Lote de Frutales, ubicado en las coordenadas 14°00'44²''N 87°00'21''W; Bosque, ubicado en las coordenadas 14°00'04''N 86°59'18''W; Monocultivo, ubicado en las coordenadas 14°00'32''N 86°59'55''W; y Agricultura Orgánica, ubicado en las coordenadas 14°00'30''N 87°00'13''W (Figura 1).

Figura 1

Lotes muestreados para caracterización de la capacidad de retención de agua de lotes contrastantes en manejo en Zamorano.

***Establecimiento del Experimento***

Se empleó un diseño cuasiexperimental con un total de 5 tratamientos y 3 repeticiones, correspondiendo cada tratamiento a un manejo específico aplicado en diferentes lotes. Para llevar a cabo esta investigación, se seleccionaron cinco lotes que se caracterizan por tener manejos contrastantes. Estos lotes incluyen áreas de bosque, monocultivo, cultivo de frutales, cría de ganado bovino y agricultura orgánica.

El muestreo se realizó en cajuelas construidas con dimensiones 50 x 50 x 50 cm, a dos profundidades 0 a 20 cm y 20 a 40 cm, ya que esta es la zona donde se encuentra la mayor concentración de raíces activas y la que representa mayor interés desde el punto de vista de la eficiencia hídrica (Nath, 2014). Para cada uno de los lotes, se tomaron tres muestras en cada una de las profundidades mencionadas. Para este experimento se recolectaron un total de 30 muestras (Figura 2).

Toma de Muestras Disturbadas

Para la toma de muestras disturbadas se utilizaron bolsas plásticas y un cuchillo edafológico, las muestras se tomaron para los cinco lotes y las tres repeticiones. Por cada lote a dos profundidades se tomó aproximadamente un kilogramo de suelo por muestra, eliminando todo material extraño como piedras y raíces y, se guardaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas

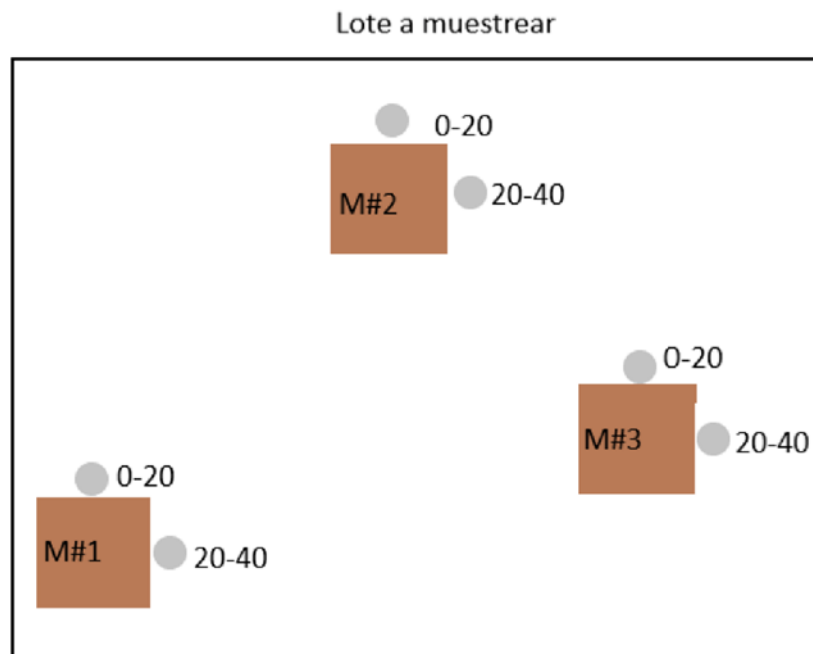
Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano donde fueron secadas en bandejas separadas y posteriormente trituradas para finalmente pasar por un tamiz de 2 mm.

Toma de Muestras Indisturbadas

Para la toma de muestras indisturbadas se utilizaron anillos muestreadores de la casa comercial Eijkelkamp se tomaron alrededor de 32 muestras indisturbadas en las profundidades ya mencionadas, las cuales comprenden 3 muestras por cada lote, con un total de 5 lotes y una muestra repetida de cualquier profundidad cada 15 muestras para cerciorarse que los datos den de forma correcta entre las muestras, para el proceso de toma de muestras se debe realizar de forma que cada muestra vaya de forma correcta y el volumen de suelo llene en su totalidad el anillo en caso de que las muestras de suelo tengan presencia de exceso de raíces, rocas grandes o cualquier material que sea distinto a la muestra de suelo, la muestra debe volver a tomarse.

Figura 2

Toma de muestras para caracterización de la capacidad de retención de agua de cinco lotes contrastantes en manejo en Zamorano.

**Mediciones*****Determinación de la Retención de Humedad***

La retención de humedad fue medida en las profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm, sometiendo las muestras a tres distintas tensiones: 0, 33 y 50 kPa. Para estas determinaciones se empleó una mesa de arena y una mesa de caolinita marca Eijkelkamp, donde las muestras fueron puestas en anillos de plástico, con 17 gramos de suelo por cada anillo para cada repetición, tratamiento y profundidad. Luego, se saturó el suelo con agua y se pasó al equipo donde se aplicó presión constante en ambos equipos y, se monitoreó la salida de agua para detectar fugas. Una vez en equilibrio, las muestras fueron transferidas a recipientes de aluminio, pesadas como Ms+W (peso del suelo + agua), secadas en un horno a 105°C; posteriormente se volvieron a pesar como Ms (Peso

del suelo). Este procedimiento se empleó para determinar la retención de agua en el suelo; también se consideró el peso del anillo plástico (Flores y Alcalá, 2010).

Densidad Aparente

La densidad aparente se determinó utilizando el método del anillo biselado, utilizando un muestreador de núcleo. El cálculo de la densidad aparente del suelo se realizó siguiendo la siguiente expresión (Fórmula 1):

$$\rho_b = \frac{\text{Peso del conjunto (muestra+cilindro)} - \text{Peso del cilindro}}{\text{Volumen del cilindro muestreador}} \quad [1]$$

Humedad Gravimétrica

La humedad gravimétrica fue determinada pesando la muestra de suelo después de sometida a los diferentes puntos de tensión, para luego, aplicarle una temperatura de 110°C durante un período mínimo de 24 horas, registrando el peso de la muestra después de este proceso (Formula 2).

$$W(\%) = \frac{\text{Masa de suelo humedo} - \text{Masa de suelo seco}}{\text{Masa de suelo seco}} * 100 \quad [2]$$

Humedad Volumétrica

Esta medición calculó el porcentaje de agua sin secar la muestra, para sacar este cálculo se usa la Fórmula 3, donde ρ_b es la densidad aparente del suelo, ρ_w es la densidad del agua (1 g cm⁻³) a presión y temperatura estándar.

$$\theta(\%) = \frac{W * \rho_b}{\rho_w} \quad [3]$$

Materia Orgánica

Esta medición calculó el (%) de materia orgánica y se realizó por el método de oxidación (Walkley-Black).

Textura

Esta medición calculó el porcentaje de arena, limo y arcilla para determinar la composición textural del suelo mediante el método de Bouyoucos.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico fue realizado usando el software JMP en su versión 18. 0. 1 Pro. Inicialmente, se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar que los datos tuvieran distribución normal y un análisis de homocedasticidad aplicando las pruebas de Levene y Bartlett para verificar el supuesto de igualdad de varianzas. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) para realizar la comparación de las medias. Finalmente, se aplicó la prueba de Tukey (Honestly-significant-difference) con un nivel de significancia del 5% con el fin de encontrar diferencias entre al menos dos grupos y determinar específicamente qué pares de grupos diferían entre sí en términos de sus medias.

Resultados y Discusión

Los resultados de los análisis de materia orgánica (MO), mostraron que, a la profundidad de 0-20 cm, los lotes de bosque y pasturas exhibieron valores significativamente más altos que los lotes de frutales y agricultura convencional (Cuadro 1 y Anexo A). Mientras que, a la profundidad de 20-40 cm, fueron los lotes de bosque y agricultura orgánica los que mostraron ser diferentes del resto de sistemas de manejo (Cuadro 1 y Anexo A). Se ha observado que mayores valores de MO están directamente asociados con una mejor agregación del suelo, mayor porosidad y por ende mayor capacidad del suelo para retener agua y nutrientes (Nath, 2014). Por el contrario, bajos contenidos de materia orgánica están comúnmente asociados con prácticas intensivas de cultivo, menor incorporación de residuos orgánicos o pérdida de materia orgánica por exceso de mecanización, afectando negativamente la fertilidad del suelo y su capacidad para sustentar la producción a largo plazo (Frene et al., 2024).

Cuando se analizó la densidad aparente, se observó que el lote de manejo convencional presentó una mayor densidad aparente (DA) (1.46 g/cm^3 a 0-20 cm) (Cuadro 1 y Anexo B), lo que sugiere una compactación más alta en comparación con los lotes de bosque (1.15 g/cm^3) y pasturas (1.34 g/cm^3), limitando la infiltración de agua y la penetración de las raíces (Wolf y Snyder, 2003).

Los resultados de los análisis de la textura del suelo mostraron que el lote de pasturas y agricultura convencional exhibieron los mayores porcentajes de arena comparado con los demás lotes de manejo (Cuadro 1 y Anexo C), el limo fue mayor en el lote de bosque en ambas profundidades, en comparación de los demás lotes (Cuadro 1 y Anexo D). Como tal la composición textural de bosques fue franca a diferencia de los demás lotes en la profundidad de 0-20 cm, para la profundidad de 20-40 cm los lotes de bosques y frutales presentaron texturas francas, los demás lotes presentaron texturas franco-arenosas (Cuadro 1).

Cuadro 1

Análisis de varianza del efecto del uso del suelo en la materia orgánica (MO), densidad aparente (DA) y sus porcentajes de arena (A), limo (L) y arcilla (Ar) para caracterización de la capacidad de retención de agua de cinco lotes contrastantes en manejo en Zamorano, Honduras.

Uso de suelo y profundidad (cm)	MO (%)	DA (g cm ⁻³)	A (%)	L (%)	Ar (%)	Textura
0-20						
A. convencional	1.51±0.05 d	1.46±0.03 a	61.07±1.76 a	24.67±0.88 c	14.27±0.88 a	FA
Frutales	2.57±0.36 cd	1.37±0.003 a	50.40±0.66 ab	31.33±0.58 b	18.27±0.88 a	FA
Pasturas	4.46±0.35 ab	1.34±0.01 a	59.07±0.58 a	25.00±0.66 c	15.93±0.88 a	FA
Bosque	4.73± 0.34 a	1.15±0.03 b	36.40±6.43 b	41.33±0.88 a	22.27±5.60 a	F
A. orgánica	3.43±0.11 bc	1.37±0.07 a	57.07±0.88 a	27.67±0.88 bc	15.27±0.88 a	FA
probabilidad	<i>P=0.003</i>	<i>P=0.0015</i>	<i>P=0.0012</i>	<i>P=0.001</i>	<i>P=0.2812</i>	
20-40						
A. convencional	1.29±0.08 cd	1.57±0.03 a	59.73±2.72 a	22.67±0.66 b	17.60±3.00 a	FA
Frutales	0.91±0.28 d	1.51±0.06 a	51.73±3.76 ab	30.33±3.93 ab	17.93±1.00 a	F
Pasturas	1.85±0.14 bc	1.41±0.07 a	66.73±1.86 a	18.67±0.88 b	14.60±1.76 a	FA
Bosque	2.77±0.13 a	1.14±0.05 b	38.07±6.17 b	37.00±4.35 a	24.93±3.92 a	F
A. orgánica	2.53±0.17 ab	1.42±0.01 a	55.57±0.44 a	26.50±0.76 ab	17.93±0.88 a	FA
probabilidad	<i>P=0.001</i>	<i>P=0.0015</i>	<i>P=0.0024</i>	<i>P=0.0063</i>	<i>P=0.3218</i>	

Nota. valores medios ± error estándar de las variables y las medidas con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor $p < 0.05$. Textura: FA=Franco arenosa; F=Franco.

Humedad Volumétrica a 0 kPa

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en la humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a punto de saturación (0 kPa) entre los distintos usos de suelo a la profundidad de 0-20 cm (Figura 3). El lote de manejo convencional (MC) presentó valores de humedad volumétrica significativamente inferiores al resto de los tratamientos ($p \leq 0.001$) (Figura 3 y Anexo F), los cuales, no fueron diferentes entre sí. En el manejo convencional, la alteración constante de los agregados del suelo, debido a prácticas intensivas, provoca un aumento en la densidad aparente, lo que modifica negativamente su estructura y capacidad de retención de agua. Esta mayor compactación reduce la

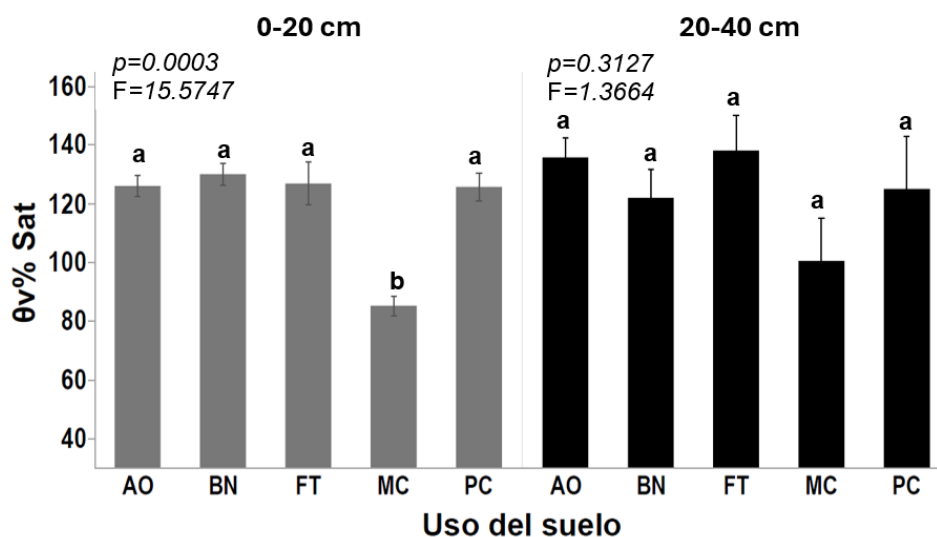
porosidad del suelo, limitando el movimiento del agua y la aireación (Ngo-Cong et al., 2021), lo que explica porque fue menor su humedad volumétrica en comparación de los demás usos de suelo.

Los análisis en la humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a punto de saturación (0 kPa) a la profundidad de 20-40 cm, no mostraron diferencias significativas entre los distintos usos del suelo (Figura 3 y Anexo F). Estos resultados difieren con un estudio realizado por Martínez et al. (2020) quienes mencionan que los suelos con prácticas agrícolas sostenibles, como la agricultura orgánica y bosque natural, tuvieron mejores características físicas, como lo son, mayor porosidad y capacidad de retención de agua, en comparación de suelos bajo manejo convencional. Estas diferencias fueron notorias y explicadas por factores clave como la variación de materia orgánica, densidad aparente y textura del suelo. Los investigadores encontraron que los suelos con prácticas agrícolas sostenibles, como la agricultura orgánica y bosque natural, mostraron mejores atributos físicos, tales como, mayor porosidad y capacidad de retención de agua, en comparación de suelos bajo manejo convencional.

Figura 3

Efecto del uso de la tierra en la capacidad de retención de humedad del suelo. Humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a punto de saturación (0 kPa). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de

frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC), Zamorano, Honduras. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.



Humedad Volumétrica a 33 kPa

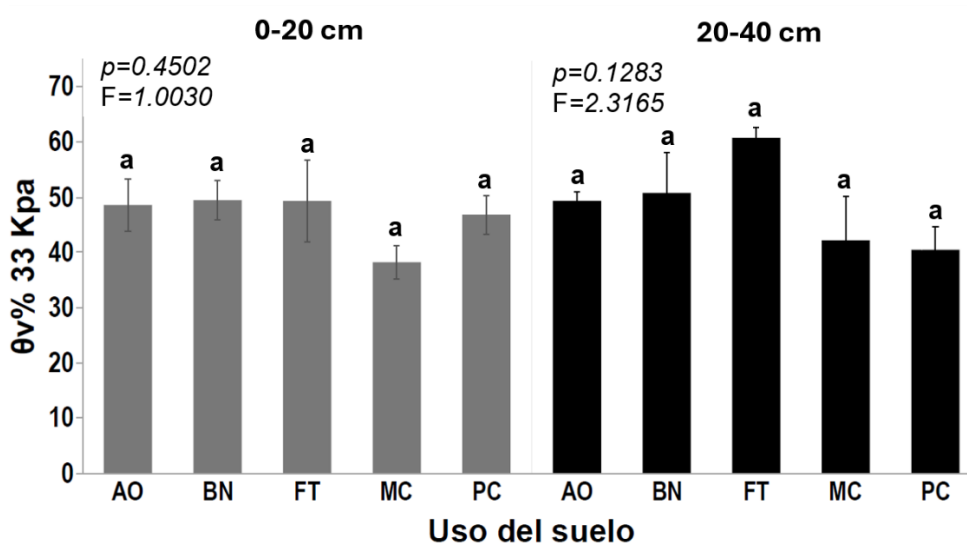
El análisis de varianza realizado en la humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a una tensión de 33 kPa no mostró un efecto del uso del suelo en su capacidad de retención a esta tensión, en ninguna de las profundidades evaluadas (Figura 4 y Anexo G).

Los resultados en la humedad volumétrica a 33 kPa difieren del estudio realizado G. Selassie y Ayanna (2013) quienes en su estudio se encontraron diferencias significativas en la humedad volumétrica a capacidad de campo para los distintos usos de suelo evaluados a dos profundidades. Esto se debe a que la capacidad de retención de agua a 33 kPa está directamente relacionada con la estructura interna del suelo, que fue evaluada utilizando muestras de suelo no perturbadas. Dichas muestras permitieron evidenciar estas diferencias en la capacidad de retención de agua, donde se encontraron diferencias significativas en la humedad volumétrica a capacidad de campo para los distintos usos de suelo evaluados a dos profundidades. Dichas muestras permitieron evidenciar estas diferencias en la capacidad de retención de agua. Este hallazgo concuerda con el análisis global de Ribeiro et al. (2018) quien sugiere una baja variabilidad a esta tensión, principalmente en suelos con

alto contenido de arena, lo que influye en su comportamiento hídrico. El estudio realizado por Daza et al. (2014) sugiere que, para tensiones como las evaluadas, es fundamental trabajar con muestras indisturbadas utilizando placas de presión según las normas internacionales. Esta diferencia metodológica respecto a la presente investigación, que empleó muestras disturbadas, podría haber influido significativamente en los resultados obtenidos. La metodología propuesta por el estudio resalta la importancia de emplear técnicas más controladas para garantizar la exactitud en la medición de la capacidad de almacenamiento hídrico en los suelos, lo cual podría haber contribuido a las discrepancias observadas en este estudio.

Figura 4

Efecto del uso de la tierra en la capacidad de retención de humedad del suelo. Humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a punto de 33 kPa. Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC), Zamorano, Honduras. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.



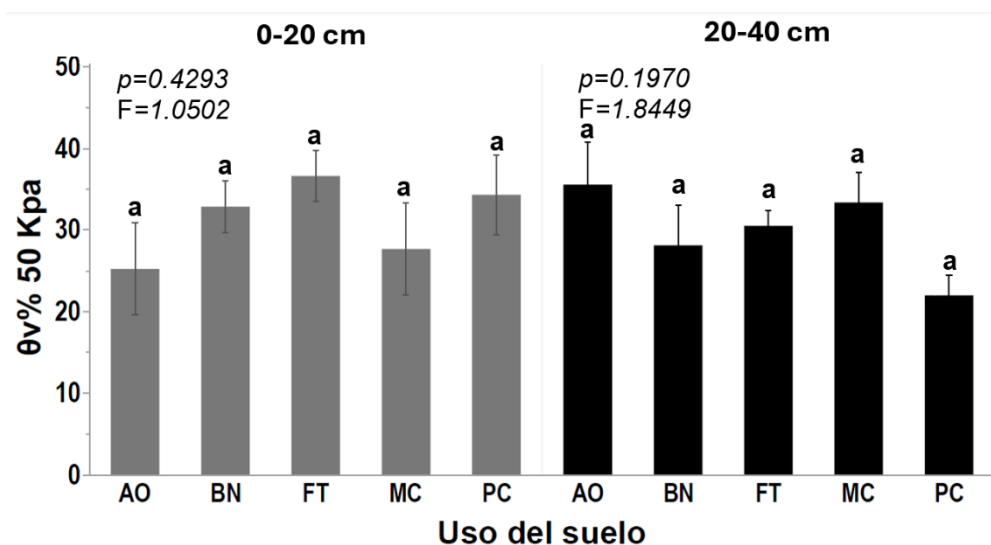
Humedad Volumétrica a 50 kPa

El análisis de varianza a una tensión de 50 kPa no mostró diferencias significativas en la humedad volumétrica ($\theta_v\%$) entre los diferentes usos de suelo en las profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm (Figura 5 y Anexo H). Este resultado difiere de los resultados del estudio realizado por Bejar et al. (2020) quien en sus investigaciones, demostró que a tensiones más elevadas se pueden observar diferencias significativas entre tratamientos. No obstante, en este experimento, aunque las muestras fueron disturbadas, se utilizaron ollas de presión para evaluar la retención de agua, lo que difiere de nuestra metodología basada en el uso de mesa de arena y caolinita. Esta diferencia metodológica podría explicar las variaciones en los resultados entre ambos estudios. La aplicación de presión mediante un compresor, como lo reporta Yáñez (2019) menciona que pudo haber afectado la

uniformidad en la medición, lo que influiría en las diferencias estadísticas observadas. Además, las muestras de este estudio mostraron una alta varianza, también se menciona que, a tensiones superiores a 10 kPa, la varianza tiende a disminuir, contribuyendo a resultados más consistentes y diferencias significativas en su investigación. Este contraste subraya cómo las diferencias en las metodologías y equipos utilizados pueden tener un impacto considerable en los resultados estadísticos obtenidos.

Figura 5

Efecto del uso de la tierra en la capacidad de retención de humedad del suelo. Humedad volumétrica (θ_v) a punto de saturación (50 kPa). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC), Zamorano, Honduras. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.



Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que el manejo del suelo afecta significativamente las propiedades de este, tales como la materia orgánica (MO), la densidad aparente (DA). Los suelos bajo prácticas de agricultura orgánica y bosque natural presentaron mayores niveles de MO y mejores características físicas en comparación con suelos de agricultura convencional, resaltando la influencia de las prácticas de conservación del suelo sobre la calidad de este.

La capacidad de retención de humedad volumétrica a condiciones de saturación (0 kPa) en la profundidad de 0-20 cm también fue impactada por el tipo de manejo. Los sitios bajo agricultura convencional presentaron una menor retención de humedad en comparación con los suelos menos intervenidos, lo cual sugiere que el uso intensivo disminuye la capacidad del suelo para almacenar agua en su zona superficial y plantea la necesidad de implementar sistemas de agricultura más sostenibles.

El manejo del suelo no mostró efectos significativos en la capacidad de retención de agua a tensiones de 33 y 50 kPa en ambas profundidades estudiadas (0-20 cm y 20-40 cm), indicando que la variabilidad en el uso de la tierra tiene menor impacto en estas tensiones específicas y que la capacidad de retención en esas condiciones puede depender más de las propiedades intrínsecas del suelo, como su textura y estructura interna, en lugar del manejo aplicado.

Recomendaciones

Realizar el experimento con muestras indisturbadas para los rangos de presión utilizados en este estudio.

Utilizar muestras disturbadas solo con el equipo de membrana de presión.

Realizar un análisis de correlación de la humedad volumétrica del suelo y las propiedades físicas del suelo.

Repetir el estudio siguiendo otra norma técnica.

Referencias

- Acosta, L. y Pineda, D. (2019). *Medición de la conductividad hidráulica y curvas de retención de humedad en suelos parcialmente saturados utilizando metodologías modernas* [Tesis, Universidad Católica de Colombia, Colombia]. repository.ucatolica.edu.co. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/23891>
- Bejar, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I. y Luna Robles, E. O. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 11(59). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>
- Daza, M., Hernandez, F. y Triana, F. (2014). Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz-Colombia. *Revista Facultad Nacional De Agronomía-Medellín*, 67(1), 7189–7200.
- Delgadillo, O. y Pérez, L. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64774007/2016_Medicion_infiltracion_doble_anilla-libre.pdf?1603730907=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPrueba_de_infiltracion_del_suelo_Metodo.pdf&Expires=1731548315&Signature=A-SvcClUjhbhpzQBdweOXRZv6jT4ZA36N9UjSkbGPr40FXCO-NAAuthKr~alwFCw13B6v9iYYhJQOljI33cxGFPJ46eepCCsgKZtIXrXEOuE2N6z0f947Bu96ogQwOI X8uCD2Y-Q2FXtNHSReAc3aQIY41iuMuD4cmiWJrbhqjbsac7nPh7R6LcECeFmMcWO5R5MYAr-FENKnZcf0ejxdZoCLVyPk7VI-DzCofqCORm8F7ZyhLttzI1ykr27ZPLlg3EprgGkYhxLsTeljZIZtHbjif6LDYrJq0wYSyXRWRmgZ73ul02f9gx5fFNqnTvEkuQNchJzzpLGj~hfitlb2gA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Food and Agriculture Organization (2020). Uso de la tierra en la agricultura según las cifras. <https://www.fao.org/sustainability/news/detail/es/c/1279267/>
- Frene, J., Pandey, B. y Castrillo, G. (2024). Under pressure: elucidating soil compaction and its effect on soil functions. *Plant Soil (Plant and Soil)*. Publicación en línea avanzada. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06573-2>
- G. Selassie, Y. y Ayanna, G. (2013). Effects of Different Land Use Systems on Selected Physico-Chemical Properties of Soils in Northwestern Ethiopia. *Journal of Agricultural Science*, 5(4). <https://doi.org/10.5539/jas.v5n4p112>
- Grimm, U. y Fassbender, H. W. (1981). Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela, 3: Ciclo hidrológico y translocación de elementos químicos con el agua [suelos]. *Turrialba*, 31(2), 89–99. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12162>

- Gubiani, P. I., do Santos, V. P., Mulazzani, R. P., Sanches Suzuki, Luis Eduardo Akiyoshi, Drescher, M. S., Zwirtes, A. L., Koppe, E., Pereira, C. A., Mentges, L. R., Galarza, R. d. M., Boeno, D., Eurich, K., Bitencourt Junior, D., Marcolin, C. D. y Müller, E. A. (2024). Relationship between Plant-Available Water and Soil Compaction in Brazilian Soils. *Sustainability*, 16(16), 6951. <https://doi.org/10.3390/su16166951>
- Jimenez, G. Y. (2020). *Caracterización de las propiedades químicas de Granos Secos de Destilería con Solubles (Dried Distillers Grains with Solubles) para ser utilizados en fórmulas ...* [Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. RIS. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6951/1/agi-2020-t021.pdf>
- Martínez, F. B., Guevara, F., Aguilar, C. E., Rodríguez, L. A., Reyes, M. B. y La O-Arias, M. A. (2020). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(4), 871–881. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>
- Mir, J. y Alegre, F. (2005). *Técnicas de medida y control del agua en el suelo*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tWkJAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PA23&dq=villar+mir+agua+y+agronomia&ots=QxfXtXozFF&sig=9XKaYC003soN7HpTOG8u2KoDX1k>
- Nath, T. N. (2014). Soil texture and total organic matter content and its influences on soil water holding capacity of some selected tea growing soils in Sivasagar district of Assam ... *International Journal of Chemical Sciences*, 12(4), 1419–1429. https://www.researchgate.net/profile/mohammed-fattah-4/post/which_soil_texture_index_is_more_useful_in_evaluation_of_the_relationship_between_soil_texture_and_organic_matter/attachment/5e08f098cfe4a777d4ff2061/as%3a841514854912001%401577644184162/download/soil-texture-and-total-organic-matter-content-and-its-influences-on-soil-water-holding-capacity-of-some-selected-tea-gro.pdf
- Ngo-Cong, D., Antille, D. L., van Th. Genuchten, M., Nguyen, H. Q., Tekeste, M. Z., Baillie, C. P. y Godwin, R. J. (2021). A modeling framework to quantify the effects of compaction on soil water retention and infiltration. *Soil Science Society of America Journal*, 85(6), 1931–1945. <https://doi.org/10.1002/saj2.20328>
- Pradilla, G. (2016). *Análisis ambiental de las prácticas campesinas de resiliencia a la variabilidad y el cambio climático en fincas ecológicas del altiplano Cundiboyacense - Colombia* [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56782>
- Ribeiro, E., Batjes, N. H. y Oostrum, A. v. (2018). *World Soil Information Service (WoSIS) - Towards the standardization and harmonization of world soil data. Procedures Manual 2018*. ISRIC - World Soil Information. https://www.researchgate.net/profile/niels-batjes/publication/323664374_wosis_procedures_manual_2018 <https://doi.org/10.17027/isric-wdcsoils.20180001>

- Rucks, L., Kaplán, A. y Ponce de León, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Salamanca, A. y Sadeghian, S. (2006). *La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana* [Tesis, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Colombia]. biblioteca.cenicafe.org. <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/163>
- Shaheb, M. R., Venkatesh, R. y Shearer, S. A. (2021). A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production. *Journal of Biosystems Engineering*, 46(4), 417–439. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00117-7>
- Wolf, B. y Snyder, G. (2003). *Sustainable Soils: The Place of Organic Matter in Sustaining Soils and Their Productivity*. CRC Press.
- Yáñez, M. I. (2019). *Caracterización ecopedológica en vertisoles bajo cuatro sistemas de uso de suelo* [Tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, Mexico]. eprints.uanl.mx. <http://eprints.uanl.mx/16722/>

Anexos

Anexo A

Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de Materia orgánica (%). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras d diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.

Materia orgánica (MO)										
Factor	0-20 cm					20-40 cm				
	Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey	
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)
Uso del suelo				MC	1.51 \pm 0.05 d				MC	1.29 \pm 0.08 cd
				FT	2.57 \pm 0.36 cd				FT	0.91 \pm 0.28 d
	23.3597	4	<0.003	PC	4.46 \pm 0.35 ab	20.4907	4	<0.001	PC	1.85 \pm 0.14 bc
				BN	4.73 \pm 0.34 a				BN	2.77 \pm 0.13 a
				AO	3.43 \pm 0.11 bc				AO	2.53 \pm 0.17 ab

Anexo B

Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de densidad aparente (g cm⁻³). Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de densidad aparente (g cm⁻³). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.

		Densidad aparente (g cm ⁻³)									
		0-20 cm					20-40 cm				
Factor	Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	
Uso del suelo				MC	1.46 \pm 0.03 a				MC	1.29 \pm 0.08 cd	
				FT	1.37 \pm 0.003 a				FT	0.91 \pm 0.28 d	
	10.1311	4	0.0015	PC	1.34 \pm 0.01 a	10.1745	4	0.0015	PC	1.85 \pm 0.14 bc	
				BN	1.15 \pm 0.03 b				BN	2.77 \pm 0.13 a	
				AO	1.37 \pm 0.07 a				AO	2.53 \pm 0.17 ab	

Anexo C

Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de arena (%). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.

		Arena (%)									
		0-20 cm					20-40 cm				
Factor	Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	
Uso del suelo				MC	61.07 \pm 1.76 a				MC	59.73 \pm 2.72 a	
				FT	50.40 \pm 0.66 ab				FT	51.73 \pm 3.76 ab	
	10.8841	4	0.0012	PC	59.07 \pm 0.58 a	9	4	0.0024	PC	66.73 \pm 1.86 a	
				BN	36.40 \pm 6.43 b				BN	38.07 \pm 6.17 b	
				AO	57.07 \pm 0.88 a				AO	55.57 \pm 0.44 a	

Anexo D

Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de limo (%). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.

Limo (%)										
Factor	0-20 cm					20-40 cm				
	Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey	
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)
Uso del suelo				MC	24.67 \pm 0.88 c				MC	22.67 \pm 0.66 b
				FT	31.33 \pm 0.58 b				FT	30.33 \pm 3.93 ab
	75.9821	4	<0.001	PC	25.00 \pm 0.66 c	6.882	4	0.0063	PC	18.67 \pm 0.88 b
				BN	41.33 \pm 0.88 a				BN	37.00 \pm 4.35 a
				AO	27.67 \pm 0.88 bc				AO	26.50 \pm 0.76 ab

Anexo E

Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de arcilla (%). Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.

		Arcilla (%)									
		0-20 cm					20-40 cm				
Factor	Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	
Uso del suelo				MC	14.27 \pm 0.88 a				MC	17.60 \pm 3 a	
				FT	18.27 \pm 0.88 a				FT	17.93 \pm 1 a	
	1.4743	4	0.2812	PC	15.93 \pm 0.88 a	6.882	4	0.3218	PC	14.60 \pm 1.76 a	
				BN	22.27 \pm 5.60 a				BN	24.93 \pm 3.92 a	
				AO	15.27 \pm 0.88 a				AO	17.93 \pm 0.88 a	

Anexo F

Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a tensión de 0 KPa. Agricultura orgánica (AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.

$\theta_v\%$ a 0 KPa										
Factor	0-20 cm					20-40 cm				
	Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey	
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)
Uso del suelo				MC	85.28 \pm 3.31 b				MC	100.56 \pm 14.58 a
				FT	126.95 \pm 7.28 a				FT	138.23 \pm 12.01 a
	15.5747	4	0.0003	PC	125.77 \pm 4.84 a	1.3664	4	0.3127	PC	125.07 \pm 17.96 a
				BN	130.17 \pm 3.66 a				BN	122.10 \pm 9.81 a
				AO	126.12 \pm 3.65 a				AO	135.82 \pm 6.61 a

Anexo G

Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a tensión de 33 KPa. Agricultura orgánica

(AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son

significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.

$\theta_v\%$ a 33KPa										
Factor	0-20 cm					20-40 cm				
	Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey	
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)
Uso del suelo				MC	38.23 \pm 3.04 a				MC	42.22 \pm 7.97 a
				FT	49.30 \pm 7.37 a				FT	67.76 \pm 1.84 a
	1.003	4	0.4502	PC	46.83 \pm 3.51 a	2.3165	4	0.1283	PC	40.49 \pm 4.11 a
				BN	49.43 \pm 3.57 a				BN	50.77 \pm 7.33 a
				AO	48.60 \pm 4.75 a				AO	49.31 \pm 1.59 a

Anexo H

Resultado del análisis de varianza del efecto de uso de la tierra en el contenido de humedad volumétrica ($\theta_v\%$) a tensión de 50 KPa. Agricultura orgánica

(AO), Bosque natural (BN), producción de frutales (FT) manejo convencional (MC) y pastura cultivada (PC). Medias con letras diferentes son

significativamente diferentes con un valor de $p < 0.05$.

$\theta_v\%$ a 50KPa										
Factor	0-20 cm					20-40 cm				
	Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey		Análisis de varianza			Prueba post-hoc Tukey	
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Media (\pm error estándar)
Uso del suelo				MC	27.70 \pm 5.61 a				MC	33.40 \pm 6.30 a
	1.0502	4	0.4293	FT	36.64 \pm 3.10 a	1.8449	4	0.197	FT	30.54 \pm 1.85 a
				PC	34.34 \pm 4.91 a				PC	22.02 \pm 2.47 a
				BN	32.90 \pm 3.15 a				BN	28.15 \pm 4.92 a

Anexo I

Prueba de normalidad para agricultura orgánica con sus tensiones (KPa)

Agricultura orgánica						
Parámetros	0-20 cm			20-40 cm		
	0	33	50	0	33	50
Valid	3	3	3	3	3	3
Missing	0	0	0	0	0	0
Mean	85.28	38.23	27.70	85.28	38.23	27.70
Std. Deviation	6.322	8.224	9.762	6.614	2.753	9.060
Shapiro-Wilk	0.997	0.850	0.966	0.906	0.884	0.996
P-value of Shapiro-Wilk	0.910	0.241	0.649	0.407	0.336	0.889

Anexo J

Prueba de normalidad para frutales con sus tensiones (kPa)

Parámetros	Frutales					
	0-20 cm			20-40 cm		
	0	33	50	0	33	50
Valid	3	3	3	3	3	3
Missing	0	0	0	0	0	0
Mean	126.95	49.3	36.64	138.23	67.76	30.54
Std. Deviation	12.611	12.768	5.366	20.813	3.181	3.198
Shapiro-Wilk	0.917	0.856	0.848	0.812	0.999	0.770
P-value of Shapiro-Wilk	0.445	0.257	0.237	0.143	0.966	0.048*

Anexo K

Prueba de normalidad para bosque natural con sus tensiones (kPa)

Parámetros	Bosque natural					
	0-20 cm			20-40 cm		
	0	33	50	0	33	50
Valid	3	3	3	3	3	3
Missing	0	0	0	0	0	0
Mean	126.95	49.3	36.64	138.23	67.76	30.54
Std. Deviation	6.336	3.572	3.157	16.995	12.696	8.536
Shapiro-Wilk	0.945	0.960	0.805	0.910	0.884	0.940
P-value of Shapiro-Wilk	0.549	0.619	0.127	0.420	0.337	0.527

Anexo L

Prueba de normalidad para manejo convencional con sus tensiones (kPa)

Manejo convencional						
Parámetros	0-20 cm			20-40 cm		
	0	33	50	0	33	50
Valid	3	3	3	3	3	3
Missing	0	0	0	0	0	0
Mean	85.28	38.23	27.7	100.56	42.22	33.4
Std. Deviation	5.727	5.27	9.723	25.245	13.809	6.302
Shapiro-Wilk	0.755	0.786	0.997	0.913	0.943	0.809
P-value of Shapiro-Wilk	0.011*	0.082	0.910	0.429	0.543	0.138

Anexo M

Prueba de normalidad para pasturas cultivadas con sus tensiones (kPa)

Pasturas cultivadas						
Parámetros	0-20 cm			20-40 cm		
	0	33	50	0	33	50
Valid	3	3	3	3	3	3
Missing	0	0	0	0	0	0
Mean	126.95	49.3	36.64	138.23	67.76	30.54
Std. Deviation	8.379	6.074	8.499	31.107	7.118	4.290
Shapiro-Wilk	0.999	0.931	0.971	0.765	0.996	0.998

Anexo N

Pruebas de homocedasticidad para los usos de suelo a dos profundidades

0-20 cm					
Parámetro	Prueba	Razón F	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Prob > F
0	Levene	0.9950	4	10	0.4538
	Bartlett	0.3907	4	10	0.8155
33	Levene	1.7896	4	10	0.2075
	Bartlett	0.4656	4	10	0.7611
50	Levene	0.4125	4	10	0.796
	Bartlett	0.2759	4	10	0.8937
20-40 cm					
Parámetro	Prueba	Razón F	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Prob > F
0	Levene	0.2499	4	10	0.2499
	Bartlett	0.7839	4	10	0.7839
33	Levene	3.0640	4	10	0.068
	Bartlett	1.482	4	10	0.204
50	Levene	1.0190	4	10	0.443
	Bartlett	0.574	4	10	0.681