



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

EVALUACIÓN DE CUATRO MODELOS DE LABRANZA EN LA CALIDAD DEL SUELO Y SUS EFECTOS EN LA PRODUCCIÓN

EVALUATION OF FOUR TILLAGE MODELS ON SOIL QUALITY AND THEIR EFFECTS ON PRODUCTION

Triviño Pineda, Jairo Smith^a

^a Especialización en estadística aplicada, jstrivinop@libertadores.edu.co

Resumen

Los sistemas de labranza están aumentando día tras día, para disminuir los costos de manos de obra, aumentar la eficiencia de las labores agrícolas e intensificando la producción de los cultivos, pero, además generan afectaciones notables en la calidad de las propiedades física y químicas del suelo, la erosión entre otras. El objetivo de este estudio fue el de evaluar cuatro modelos de labranza que aumenten la productividad sin afectar las propiedades del suelo (Tratamiento 1 está compuesto por, 2 pases de rastra excéntrica (PRE), 2 pasos de rastrillo pulidor (PRP) y 1 pase de siembra de maíz forrajero (PS); en el tratamiento 2 se implementó 1 pase de cincel (PC), 2 PRE, 3 PRP y 1 PS; en el tratamiento 3, se realizaron 2 PC, 2 PRE, 2 PRP y 1 PS, y finalmente en el tratamiento 4, solo se realizó 1 PS) en el cultivo de maíz forrajero. Los tratamientos se evaluaron utilizando un modelo matemático $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$ en el análisis de diseño de bloques aleatorizados con tres repeticiones para un total de 108 datos y 9 variables. En donde se caracterizó y se evaluó el suelo y el cultivo durante el ciclo de producción. Se realizaron la reducción de las dimensiones del conjunto de datos mediante el análisis de componentes principales (ACP), las pruebas de modelos lineales generales y mixtos (MLGM) y conglomerados (ACon) y su respectiva gráfica. Para el caso de las variables pH, la conductividad eléctrica, infiltración, densidad aparente, densidad real, porosidad, crecimiento fenológico y la producción nos indica la dinámica del suelo, disponibilidad de nutrientes y el agua que son partes fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, microorganismos y en general la vida del suelo. El crecimiento fenológico presento mejor crecimiento en el tratamiento 2 implementando 1 pase de arado cincel, 2 pases de rastra excéntrica y 2 pase s de rastrillo pulidor, por ende, la producción es superior a los demás tratamientos. Finalmente hay que tener en cuenta que el exceso de los

sistemas de labranza o la poca implementación puede hacer que la producción sea significativamente menor.

Palabras claves: modelos de labranza, labores agrícolas, mecanización, propiedades físicas, cultivo

Abstract

Tillage systems are increasing day after day, to reduce labor costs, increase the efficiency of agricultural work and intensify crop production, but also generate notable effects on the quality of the physical and chemical properties of the soil. soil, erosion among others. The objective of this study was to evaluate four tillage models that increase productivity without affecting soil properties (Treatment 1 consists of 2 passes of eccentric harrow (PRE), 2 passes of polishing rake (PRP) and 1 pass forage maize sowing (PS); in treatment 2, 1 chisel pass (PC), 2 PRE, 3 PRP and 1 PS were implemented; in treatment 3, 2 PC, 2 PRE, 2 PRP and 1 PS were performed, and finally in treatment 4, only 1 PS) was carried out in the forage corn crop. The treatments were evaluated using a mathematical model $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$ in the randomized block design analysis with three repetitions for a total of 108 data and 9 variables. Where the soil and the crop were characterized and evaluated during the production cycle. The reduction of the dimensions of the data set was carried out through the analysis of principal components (PCA), the tests of general and mixed linear models (MLGM) and conglomerates (ACon) and their respective graph. In the case of the variables pH, electrical conductivity, infiltration, apparent density, real density, porosity, phenological growth and production, it indicates the dynamics of the soil, availability of nutrients and water that are fundamental parts for the growth and development of plants, microorganisms and soil life in general. The phenological growth presented better growth in treatment 2 implementing 1 pass of chisel plow, 2 passes of eccentric harrow and 2 passes of polishing rake, therefore, the production is superior to the other treatments. Finally, it must be taken into account that excessive tillage systems or insufficient implementation can cause production to be significantly lower.

Key words: tillage models, agricultural work, mechanization, physical properties, cultivation.

1. Introducción

Durante los años, la migración de los agricultores a las ciudades es un fenómeno, que ha afectado a la población colombiana (Trece, 2019) como consecuencia de la violencia, el desplazamiento forzado, falta de inversiones en investigación para así adoptar prácticas agrícolas apropiadas, mejores oportunidades de estudios o empleo por las bajas utilidades

debido a los altos costos de producción, con el sueño de mejorar la calidad vida para sus familias (Albiero et al., 2022; Chaudhary et al., 2022). Conforme al declive de la mano de obra agrícola, en muchas regiones se ha feminizado y en otras se ha envejecido lo que conlleva, a una pérdida gradual en la calidad y cantidad en las zonas rurales (Trece, 2019).

Se han realizado estudios de mercado de los productos agrícolas proyectando al año 2050 el consumo de alimentos se triplicara con respecto al consumo actual (Morales García, 2013). ante esta situación para poder complacer tanto a la demanda como al crecimiento poblacional, la agricultura tiene el reto de maximizar tanto los recursos como poner en practica tecnologías que puedan generar mayor eficiencia y sostenibilidad con el medio ambiente (Gómez-Calderón et al., 2018).

Por tal razón en muchas zonas para aliviar la problemática de la poca mano de obra en la producción agrícola, se ha buscado la tecnología agrícola moderna el cual, se ha intensificado en los últimos años (Qiu et al., 2021). Por ejemplo la mecanización agrícola se presenta con una intensidad mayor en países asiáticos y países latinos, pero por el contrario en África la frecuencia es extremadamente baja (Pingali, 2007).

Dentro de las tecnologías agrícolas modernas existe uno de los elementos más importantes siendo la maquinaria. Mediante la maquinaria agrícola se suscita tanto el crecimiento económico a través de los mayores rendimientos por hectárea, como la expansión de las áreas cultivadas, es decir por la unión de otros tipos de cultivos o por más de una siembra al año en una misma unidad de superficie (Albiero et al., 2022). Además de garantizar la circulación del oxígeno, agua y nutrientes a los cultivos, por lo que se debe efectuar en el momento oportuno ni de forma excesiva, ni deficiente (Olivet Rodríguez et al., 2019).

La maquinaria se basa en el tractor, sus adaptaciones como los implementos para la siembra, el cultivo y su combinación para formar el tipo de labranza a realizar (Araya & Ossa, 1976). El tractor es uno de los principales en este proceso ya que en vista de la potencia que se requiere y fácil adaptación del resto de implementos que se emplean en las diferentes obras agrícolas (Goering & Hanson, 2004), como son los arados, cinceles, gradas, sembradoras, cosechadoras, aspersores, desbrozadoras, rastrillos, trituradoras, cortadoras entre otras (Srivastava et al., 1993).

El concepto de maquinaria en el agro se está aproximando al límite de tecnología para parámetros que representan tres problemas esenciales: el primero es donde presenta mayores gastos energéticos superando el 60 % (consumo de combustible fósil diésel, hasta 150 Litros/hora) y el mayor costo agregado en la producción agrícola, basados a las especificaciones de operación agrícola que requieren de mucha energía mecánica, teniendo en cuenta las diferentes etapas de producción agrícola como son la preparación del terreno, la siembra, plantaciones, manejo agronómico del cultivo, cosecha y acondicionamiento de los residuos del cultivo (Albiero et al., 2022).

La segunda problemática esencial hace referencia al precio de las máquinas que pueden alcanzar valores de hasta 60 millones de pesos colombianos, teniendo en cuenta la potencia que se requiera para la labor, y el tercer problema hace referencia a la masa de estas máquinas

estando en el año 1902 alrededor de los 1.300 kg y para el año 2019 con valores de 25.000 kg (Renius, 2020).

Dentro de la practica mecanizada se encuentra la preparación del suelo, que es una de las más importantes para el establecimiento del cultivo, que se emplea para removerlo con el objetivo de acondicionar el terreno para hacer más sencillo las diversas tareas agrícolas, debido a que esto ayudan a generar un ambiente propicio en el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo (Sarmiento-Sarmiento et al., 2022) es decir, para la germinación de las semillas y el mejor desarrollo de las plantas forjando una relación entre suelo-aire-agua-planta, causando una adecuada disposición y asimilación de los distintos nutrientes (Torres Gómez, 2019). Las labores de preparación del terreno se deben tener en cuenta el tipo de maquinaria, los diferentes implementos a usar basados en el tipo de textura del suelo y el contenido de humedad (Torres Gómez, 2019).

Uno de los factores importantes en la producción de los cultivos son las propiedades físicas del suelo como la estructura, la textura, la densidad, la consistencia, la porosidad, la temperatura y la permeabilidad entre otras, que ayudan a determinar el movimiento del agua y disponibilidad de oxígeno, condicionando las prácticas agrícolas en la producción de los cultivos (Martínez et al., 2010), siendo necesarias en la evaluación de la calidad de este recurso porque no es sencillo de mejorar. El impacto de la mecanización agrícola de los sistemas de labranza es dependiente de los atributos de cada tipo de suelo, por lo que las labores que requieren de su uso deben ser principales en la labranza sostenible (Sarmiento-Sarmiento et al., 2022).

Muchos estudios han reportado que los sistemas de labranza aumentan de manera significativa la producción agrícola (A. Obi, 2011; Houssou & Chapoto, 2015; Qiu et al., 2021). Pero también se ha demostrado que los distintos sistemas de labranza en cualquiera de sus modelos modifican las propiedades del suelo (Sarmiento-Sarmiento et al., 2022) además, una de las variables deterioradas y que es notoria por el uso intensivo de maquinaria, se encuentra la estructura debido a que al pasar el tiempo la disminución de la porosidad cada vez es mayor (Rodríguez González et al., 2015). Todos los suelos tienen una forma natural, que está compuesta de materia orgánica, agua y aire, unidos según su disposición y modo de acción que determinan la productividad de los cultivos (Rodríguez González et al., 2015).

La implementación de labranza tradicional como es el volteo y roturación superficial, han generado el aumento de las áreas para la siembra ya que, se incrementa la eficiencia en las labores y al mejoramiento de las propiedades del suelo en la rizosfera (Gómez-Calderón et al., 2018). Pero las condiciones desfavorables han podido degradar el suelo, la más afectada es la capa del suelo. hay unos estudios donde mencionan que más del 80% de los suelos agrícolas en el mundo presenta una erosión de moderada a severa y que el 10% tiene una erosión de ligera a moderada (Cadena et al., 2012).

Para el caso de la labranza convencional donde se utiliza el arado de disco presenta efectos negativos en el suelo como deterioro de la estructura, la compactación, aumento en la erosión y baja disminución del contenido de materia orgánica, profundidad efectiva, actividad biológica, la productividad y la porosidad que afecta gravemente un movimiento propicio del

agua a través del perfil del suelo, también el intercambio gaseoso actúa para el desarrollo radicular de los cultivos (Lal, 2014; Olguín López et al., 2017).

Los efectos negativos que pueden causar la labranza convencional en la fertilidad del suelo, pueden ser minimizados mediante sistemas de labranza reducida como arado cincel y labranza cero que son menos agresivos (Barut & Celik, 2017). Estos dos tipos de labranzas se diferencian en que el primero es decir el arado de cincel incorpora residuos administrativos a la profundidad del arado en cambio la labranza cero los retiene en la superficie (Singh et al., 2020).

Este tipo de labranza también es conocida como labranza vertical, el cual está presente la utilización del arado, siendo su principal función romper el suelo de manera vertical sin voltearlo, esta tarea ayuda a la infiltración sin dañar la estructura del suelo, es de tener en cuenta que debido al uso de aperos inapropiados del suelo podría limitar la germinación de las semillas (Gómez-Calderón et al., 2018).

El uso de los sistemas de labranza como el arado, disco y los monocultivos generan un rápido deterioro tanto de las propiedades físicas, químicas como biológicas en el suelo, que en su gran mayoría se dejan sin cobertura vegetal por varios periodos de tiempo, lo que puede ocasionar una acción por la lluvia y los vientos que son algunos factores erosivos naturales (Renté-Martí et al., 2018).

Por lo general la aplicación de los sistemas de labranza se usan para cultivos de corta duración, uno de ellos es el maíz de ensilaje, ya que es una actividad agropecuaria esencial para el desarrollo de la ganadería en Colombia, además de que es fácil para adaptarse a las diferentes condiciones climáticas de las regiones (Yanes Buezo & Banegas Saravia, 2021). Por ende los cultivos perennes han venido creciendo, y para el primer mes de 2022 fueron maíz, aceite de palma, ganado en pie y piña (Navarro, 2022).

Por ellos este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar cuatro modelos de labranza en la calidad del suelo teniendo como base parámetros como pH, acidez, conductividad, densidad aparente, densidad real, porosidad infiltración y humedad además de sus efectos en la producción del cultivo de maíz forrajero teniendo en cuenta el crecimiento de las plantas y su respectiva producción en el municipio de Garzón Huila.

2. Metodología

2.1. Sitio experimental y diseño

La investigación se realizó en enero de 2022 en la ciudad de Garzón en la vereda Majo ($2^{\circ}14'26.6''N$ $75^{\circ}36'44.2''W$), del departamento del Huila, Colombia (Figura 1). La zona tiene unas características climatológicas más predominante es el Clima Cálido Seco, durante el transcurso del año, la temperatura promedio generalmente varía de $22^{\circ}C$ a $29^{\circ}C$ y rara vez baja a menos de $20^{\circ}C$ o sube a más de $33^{\circ}C$ (PDMG, 2020). Antes de llevar a cabo el estudio, se tomaron unos análisis para la caracterización del suelo.

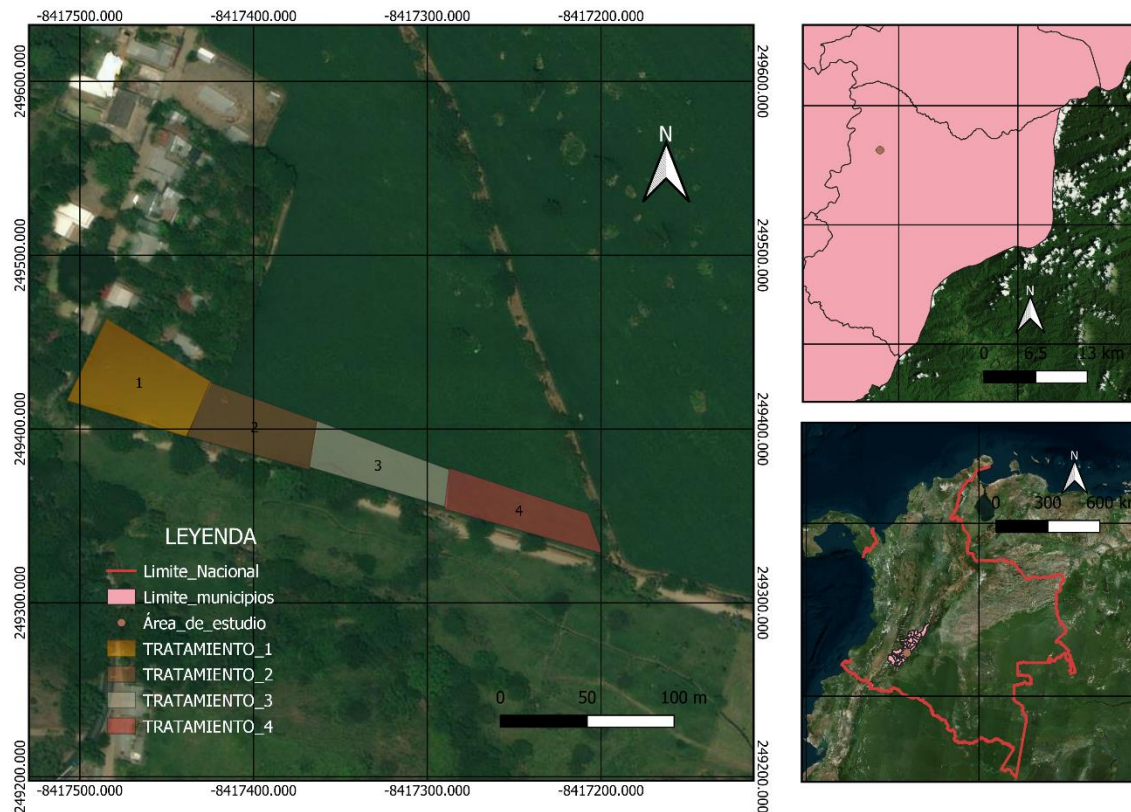


Figura 1: Panorámica de la zona de estudio

Nota: El color amarillo corresponde al tratamiento 1, el color café pertenece al tratamiento 2, el color gris concierne el tratamiento 3 y el color rojo refiere al tratamiento 4 o testigo, en la ciudad de Garzón – Huila, lugar donde se tomó la información.

Fuente: Autoría propia, QGIS versión 3.16

La investigación se realizó en un área de 1 ha con maíz forrajero, utilizando un diseño experimental de bloque complementado al azar con tres repeticiones, donde el sistema de labranza es el factor que corresponde a 4 tratamientos de modelos de labranza, y el factor número de pases en 3 niveles, durante 11 días (lapsos de tiempo de 7 días). Los modelos fueron seleccionados así: el tratamiento 1 está compuesto por, 2 PRE, 2 PRP y 1 PS; en el tratamiento 2 se implementó 1 PC, 2 PRE, 2 PRP y 1 PS; en el tratamiento 3, se realizaron 2 PC, 2 PRE, 2 PRP y 1 PS, y finalmente en el tratamiento 4, solo se realizó 1 PS, (Tabla 1).

Tabla 1: Detalle del tipo de tratamiento con los números de pases

Tipo de pases	Numero de pases			
	Cinzel	Rastra excéntrica	Rastrillo pulidor	Siembra de maíz
Tratamiento 1	0	2	2	1

Tratamiento 2	1	2	2	1
Tratamiento 3	2	2	2	1
Tratamiento 4	0	0	0	1

Nota: Autoría propia (2022)

2.2.Muestreo y análisis del suelo

La recolección de las muestras intactas en las diferentes etapas de crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de maíz. Con un total de 396 muestras en los tiempos (1, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 73) en cada muestreo se usaron para determinar la conductividad (CE), pH (PH), humedad (H), densidad aparente (DA), densidad real (DR) y porosidad (PO), al mismo tiempo se seleccionaron aleatoriamente 11 puntos de cada parcela para determinar *in-situ* el crecimiento fenológico (CF), infiltración (I) y la producción de maíz forrajero (PR) (Tabla 2).

2.3.Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron en R (v.4.1.2). Para todos los modelos paramétricos, los residuos fueron probados para la normalidad, homocedasticidad y heterocedasticidad; si los modelos no cumplían con esos criterios, los modelos se ajustaban a modelos paramétricos apropiados basados en distribución no normales o modelos no paramétricos (Pearsons et al., 2023). Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA, $P < 0,05$) para evaluar los efectos de los diferentes tratamientos en el índice de rendimiento. Se implementó el método (LSD de Fisher) de diferencia mínima significativa para comparaciones múltiples medias. También el método componentes principales, coordenadas principales, modelos lineales generales y mixtos, análisis de correspondencia y conglomerados. Además se utilizó el análisis de correlación de Spearman para analizar la relación entre los índices de calidad física del suelo y los rendimientos de los cultivos.

2.4.Variales evaluadas

Las variables evaluadas en dos épocas antes y después de la aplicación de los modelos de sistema de labranza (Tabla 2), que se describen junto con la metodología implementada.

Tabla 2: Métodos utilizados para cada variable

Parámetro	Método	Referencia
pH	AOAC-981.12	(AOAC-981.12)
Conductividad eléctrica	UNE 77308:2001	UNE 77308:2001
Porosidad	AM	(Ibañez et al., 2012)(Moret-Fernández & López, 2015)

Densidad aparente	Volumétrica	(Andrades et al., 2015)
Densidad real	Volumétrica	(Ingaramo et al., 2007)
Infiltración	Porchet	(Alvarado Batres & Barahona-Palomo, 2017)
Humedad	Gravimétrico	(Radulovich, 2009)
Producción de biomasa	Calculo de biomasa	(Ramos-Escalante et al., 2018)
Crecimiento fenológico	Calculo fenológico	(Cristhina Flórez, 2018)
Nota: Autoría propia (2022)		

3. Resultados y análisis

3.1. Establecimiento del conjunto mínimo de datos

Se identificaron tres componentes principales con valores propios mayores o iguales a 1 (≥ 1), y la tasa de cotización acumulada es del 100 %, lo que significa que los requisitos están de acuerdo con la extracción de la información (Tabla 3).

Tabla 3: Matriz de carga y valores normalizados de las variables

Variables	Código	Grupo	Componentes principales ACP		
			CP 1	CP 2	CP 3
Crecimiento Fenológico	CF	1	0,99	0,11	0,05
Infiltración	I	1	1	-0,03	-0,06
PH	PH	1	0,97	0,22	0,06
Conductividad	CE	2	0,57	0,79	0,22
Humedad	H	1	0,9	-0,33	-0,27
Densidad Aparente	DA	3	-0,2	-0,61	0,76
Densidad Real	DR	1	0,88	-0,48	-0,07
Porosidad	PO	1	0,93	-0,33	-0,16
Producción	PR	1	0,83	0,18	0,53
Valor característico			6,42	1,54	1,03
Tasa de cotización de varianza de la APC (%)			71,4	17,2	11,4
Tasa de cotización de varianza acumulada de la APC (%)			71,4	88,6	100

Nota: Autoría propia (2022)

Al primer grupo se encontraron el crecimiento fenológico (CF), infiltración (I), PH, humedad (H), densidad real (DR), porosidad (PO) y producción (PR). El cual el CF se correlacionó significativamente con la I y PH (0,98* y 0,99** respectivamente), además de la presentar correlación I con PH (0,96*) y finalmente la DR se correlacionó con PO (0,98*). El segundo grupo se conformó por la conductividad eléctrica (CE) y el tercer grupo constituye por la densidad aparente (DA) (Figura 2, Tabla 4).

Tabla 4: Matriz de correlación de las variables de estudio

Variables	CF	I	PH	CE	H	DA	DR	PO	PR
CF	1								
I	0,98*	1							
PH	0,99**	0,96*	1						
CE	0,66	0,53	0,74	1					
H	0,85	0,93	0,79	0,19	1				
DA	-0,23	-0,22	-0,29	-0,43	-0,19	1			
DR	0,81	0,89	0,74	0,1	0,97	0,06	1		
PO	0,88	0,95	0,82	0,23	0,99	-0,11	0,98*	1	
PR	0,87	0,79	0,88	0,73	0,55	0,13	0,6	0,62	1

Nota: **P-Valor<0,01; *P-Valor<0,05.

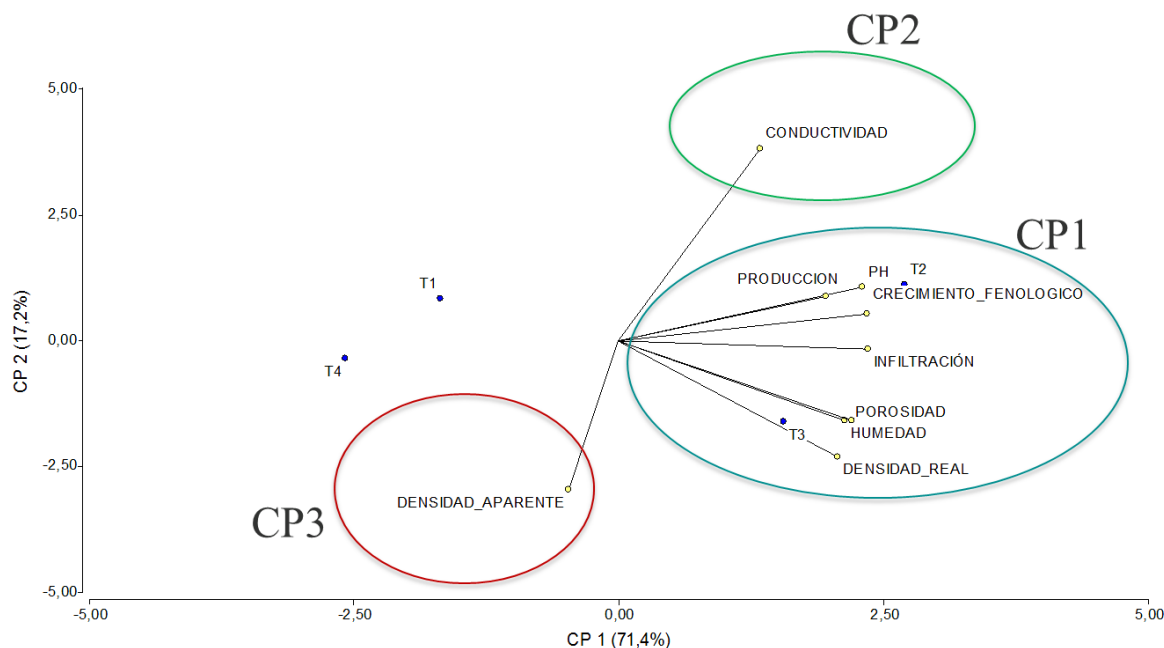


Figura 2: Biplot del análisis de componentes principales (PCA) que muestra la distribución de las variables (primera derivada) adquiridos de muestras de suelo de campos bajo diferentes modelos de labranza (T1 = 2PRE_2PRP, T2 = 1PAC_2PRE_2PRP, T3 = 2PAC_2PRE_2PRP y T4 = Testigo).

3.2. Efecto de los diferentes tratamientos de las variables medidas

El umbral del límite inferior del PH se determinó en 5,03 y los tratamientos T1 y T4 fueron 0,29 y 0,76 respectivamente, ambas por debajo del límite inferior extremadamente ácido sin alcanzar el PH óptimo para aumentar la producción de forraje. En cambio, los tratamientos T2 y T3 superaron el umbral inferior corresponde a 0,82 y 0,23 respectivamente intentando a la alcalinidad (Figura 2a). Además, cabe resaltar que se presenta diferencias significativas entre los tratamientos con un valor de confianza del 95 %.

Es decir que el tratamiento 2 al presentar un PH en el rango de 5,5 a 6,0, su categoría es moderadamente ácido lo que conlleva a no presentar toxicidad en las plantas por elementos como aluminio, presenta mayor disponibilidad de fósforo, azufre, molibdeno y elementos bases. Para el caso del tratamiento 3 presento características de PH fuertemente ácido debido al estar en el rango de 5,0 a 5,5, donde se presenta una toxicidad moderada por aluminio y manganeso, presenta deficiencia de fósforo, azufre, molibdeno y elementos bases, presenta alto contenido de micronutrientes. Y finalmente el tratamiento 1 y tratamiento 4 están en el rango $< 5,0$, por lo que son PH extremadamente ácido lo que genera una toxicidad alta de aluminio, se presentan niveles altos de micronutrientes y bajo contenido de fósforo, azufre, molibdeno y bases intercambiables es similar a lo reportado por otros autores (Cremona & Enríquez, 2020; Osorio, 2012; Santos-Francés et al., 2019).

El valor de la CE bajo los tratamientos T3 y T4 no alcanzo el límite inferior del umbral adecuado ($59,05 \mu\text{S}/\text{cm}$) siendo $31,44$ y $56,23 \mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, ambas por debajo del límite inferior sin alcanzar el valor influenciado por la composición y concentración de las sales disueltas presentes en el suelo. Los tratamientos T2 y T1 sobrepasaron el umbral inferior corresponde a $65,33$ y $22,33 \mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, perteneciendo a suelos normales (Figura 2b). Es de resaltar que se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre del 5 %. Para todos los tratamientos presentaron características de suelos no salinos por estar en el rango de 0 a $1 \text{ dS}/\text{m}$ por lo que la acidez del suelo en regiones como la de estudio es una condición muy común en los suelos de las regiones húmedas tropicales, mientras que en regiones secas- tropicales la condición predomina suelos alcalinos, debido a los resultados se presentan similitud a lo reportado por otros autores (Cremona & Enríquez, 2020; Santos-Francés et al., 2019).

El umbral del límite inferior de la H se determinó en 24,34 % y los tratamientos T4 y T1 fueron 3,79 y 7,92 % respectivamente, ambas por debajo del límite inferior sin alcanzar la humedad adecuado en el suelo. Los tratamientos T3 y T2 se excedieron del umbral inferior corresponde a 6,00 y 5,69 % respectivamente (Figura 2c). Es de resaltar que se presentan diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre de $P < 0,05$; el tratamiento 1 y el tratamiento 4 presentan bajo almacenamiento de agua en comparación al tratamiento 3 y el tratamiento 2 debido al uso excesivo de sistemas de arado aplicado en el suelo (Quichimbo et al., 2016).

El valor de la I bajo los tratamientos T1 y T4 no alcanzo el límite inferior del umbral adecuado ($1,26 \text{ cm}/\text{min}$) siendo $0,94$ y $1,18 \text{ cm}/\text{min}$ respectivamente, ambas por debajo del límite inferior sin alcanzar la infiltración adecuada. Los tratamientos T2 y T3 sobrepasaron el umbral inferior corresponde a $1,33$ y $0,87 \text{ cm}/\text{min}$ respectivamente (Figura 2d). Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de confianza del 95 %; es decir el tratamiento 2 y el tratamiento 3 presentan diferencias significativas respecto al tratamiento 1 y al tratamiento 4, debido al que presenta una relación directa proporcional con respecto a la variable porosidad, densidad real y humedad, el tratamiento 2 y el tratamiento 3 presentan un valor mayor de infiltración por lo que tiene características de buen drenado, semejante a lo reportado por otros autores (García-Centeno, 2015).

El valor de la DA bajo los tratamientos T4 y T2 no alcanzo el límite inferior del umbral adecuado ($1,58 \text{ g/cm}^3$) siendo $0,03$ y $0,09 \text{ g/cm}^3$ respectivamente, ambas por debajo del límite inferior. Los tratamientos T3 y T1 sobrepasaron el umbral inferior corresponde a $0,07$ y $0,04 \text{ g/cm}^3$ respectivamente afectando así la producción (Figura 2e). De esta manera cabe resaltar que se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre del 5 %; haciendo una relación entre la textura con la densidad aparente el tratamiento 3 y el tratamiento 1 presentan diferencias significativas con una textura arenosa en comparación con el tratamiento 4 con una textura franco arenoso y el tratamiento 2 con una textura franco, similar a lo reportado por otros autores (Ciencia En & Pc, 2017; Escobar Perea et al., 2021; García-Centeno, 2015).

El umbral del límite inferior del DR se determinó en $3,04 \text{ g/cm}^3$ y los tratamientos T4 y T1 fueron $0,61$ y $0,87 \text{ g/cm}^3$ respectivamente, ambas por debajo del límite inferior. En cambio, los tratamientos T3 y T2 superaron el umbral inferior corresponde a $0,99$ y $0,47 \text{ g/cm}^3$ respectivamente afectando así la producción (Figura 2f). Para el caso de los tratamientos presentan diferencias significativas con una incertidumbre de $P < 0,05$; según la clasificación se pudo evidenciar que el tratamiento 3 y el tratamiento 2 tiene una densidad alta por el contrario, el tratamiento 4 una densidad baja y el tratamiento 1 una densidad muy baja, y todo esto es debido a la cantidad y a los tipos de labranzas que se usaron, estos resultados se asemejan a los expuesto por otros autores (Castillo, 2005; Ciencia En & Pc, 2017; Escobar Perea et al., 2021).

El valor de la PO bajo los tratamientos T4 y T1 no alcanzo el límite inferior del umbral adecuado (50,43 %) siendo 18,40 y 27,66 % respectivamente, ambas por debajo del límite inferior. Los tratamientos T3 y T2 sobrepasaron el umbral inferior corresponde a 24,83 y 21,24 % respectivamente (Figura 2g). Se presentan diferencias significativas entre el tratamiento 3 y el tratamiento 2 respecto al tratamiento 4 y el tratamiento 1 con un nivel de confianza del 95 %; en el caso del tratamiento 3 y el tratamiento 2 presenta una porosidad excesiva con una posible textura arcillosa, para el tratamiento 4 y tratamiento 1 presenta una porosidad deficiente con una textura arenosa resultados similares a los obtenidos por otros autores (Castillo, 2005; Ciencia En & Pc, 2017; Escobar Perea et al., 2021).

El umbral del límite inferior de CF se determinó en 123,035 cm y los tratamientos T1 y T4 fueron 16,93 y 35,25 cm respectivamente, ambas por debajo del límite inferior sin alcanzar el crecimiento adecuado. Esto es de esperar ya que el T1 y T4 hacen que el CF sea menor y por ende la producción de forraje. Los tratamientos T2 y T3 se excedieron del umbral inferior corresponde a 36,39 y 15,79 cm respectivamente (Figura 2h). Cabe resaltar que se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre del 5 %, el tratamiento 2 presenta diferencias significativas respecto al tratamiento 1 y al tratamiento 4, el tratamiento 2 presenta mayor crecimiento y desarrollo de la planta en comparación con los demás tratamientos y es debido a cada variable anteriormente mencionada, datos similares a lo reportado por otros autores (Rodríguez et al., 2020; Triviño Pineda & Contreras Garcia, 2016).

El umbral del límite inferior de la producción de forraje se determinó en 32,30 ton/ha y el tratamiento T4 fue 9,8 ton/ha por debajo del límite inferior. En cambio, los tratamientos T2, T3 y T1 superaron el umbral inferior corresponde a 5,09, 3,43 y 1,29 ton/ha respectivamente (Figura 2i). Es de resaltar que se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre $P < 0,05$; en base a estos resultados se puede inferir que el efecto de los métodos de labranza, pueden ayudar a aumentar la producción en el cultivo como también por el uso excesivo de los mismos (Triviño-Pineda et al., 2017; Triviño, 2015).

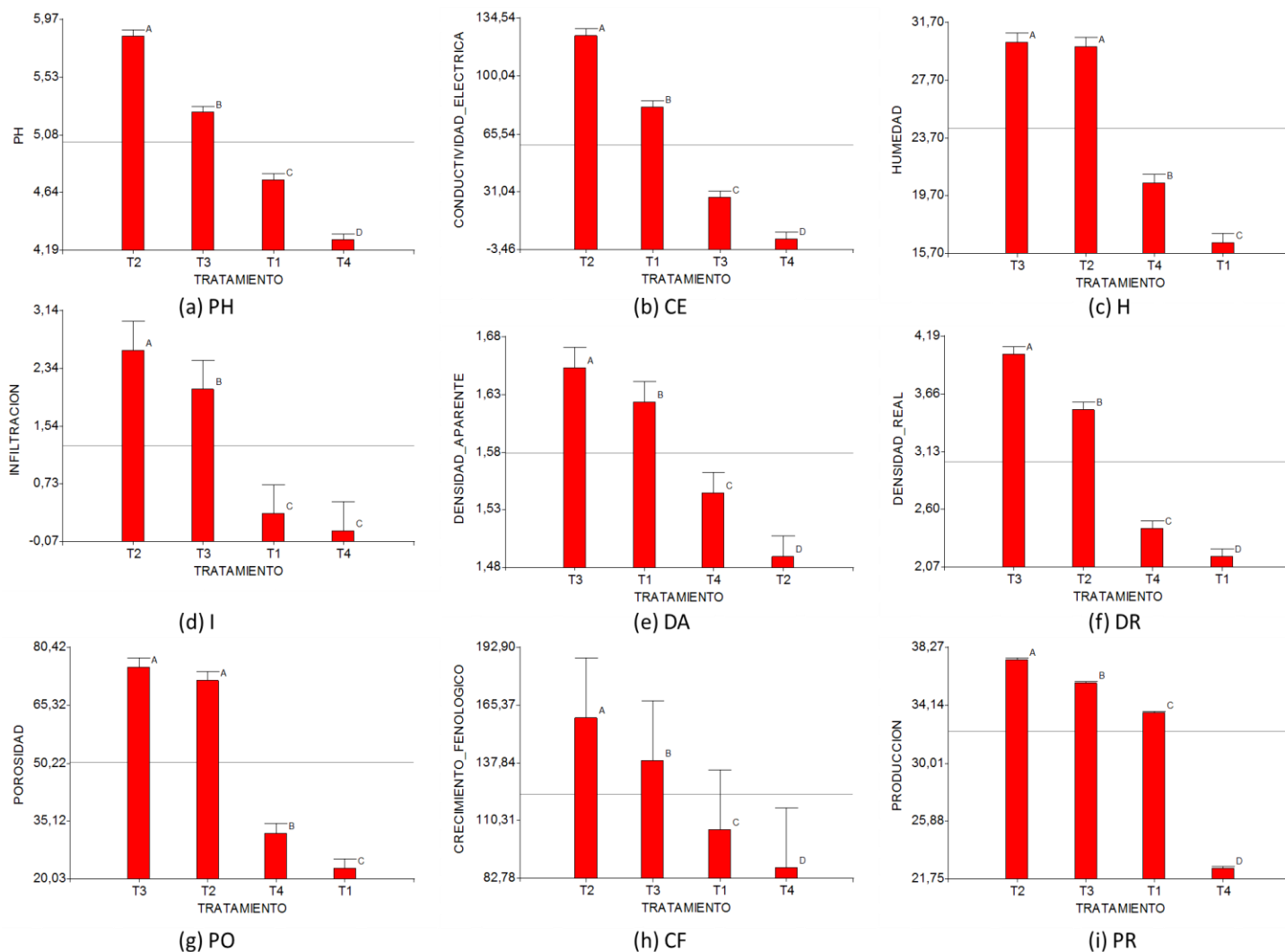


Figura 3: Efecto de las medias en cada tratamiento como indicadores

El procedimiento de evaluación de cada tratamiento se determinó utilizando el método ACP para seleccionar los indicadores de las variables, el cual se ha aplicado en varios estudios como una herramienta para la reducción de los datos (Jin et al., 2021; Rezaee et al., 2020; Santos-Francés et al., 2019; Shao et al., 2020). Estos resultados demuestran que el método puede evaluar con precisión las características de tratamiento óptimas. Este conjunto de ideas

de evaluación también es aplicable a otras regiones, pero la selección de indicadores de evaluación debe tener en cuenta la tipicidad y las diferencias regionales del área de estudio.

3.3. Análisis de conglomerados

Para el análisis de conglomerados

El dendrograma de conglomerados generados por el método de Weighted average linkage basados en la distancia euclidiana² entre los tratamientos (Figura 4). En general los cuatro tratamientos con las 9 variables medidas están separadas entre sí y se dividieron tres grupos. El conglomerado 1 (grupo 1) son los tratamientos donde se implementó poca herramienta de labranza (T1 = 2PRE_2PRP y T4 = Testigo) en que el crecimiento y desarrollo como la producción de maíz forrajero está por debajo en comparación con los demás tratamientos. En el conglomerado 2 (grupo 2) se presenta un nivel intermedio del uso de implementos de labranza (T2 = 1PAC_2PRE_2PRP) generando un crecimiento, desarrollo y producción de maíz forrajero mayor en comparación de los demás tratamientos, y en el conglomerado 3 (grupo 3) donde se presenta un exceso en la aplicación de las herramientas agrícolas (T3 = 2PAC_2PRE_2PRP) por lo que mermo el crecimiento de las plantas y la producción .

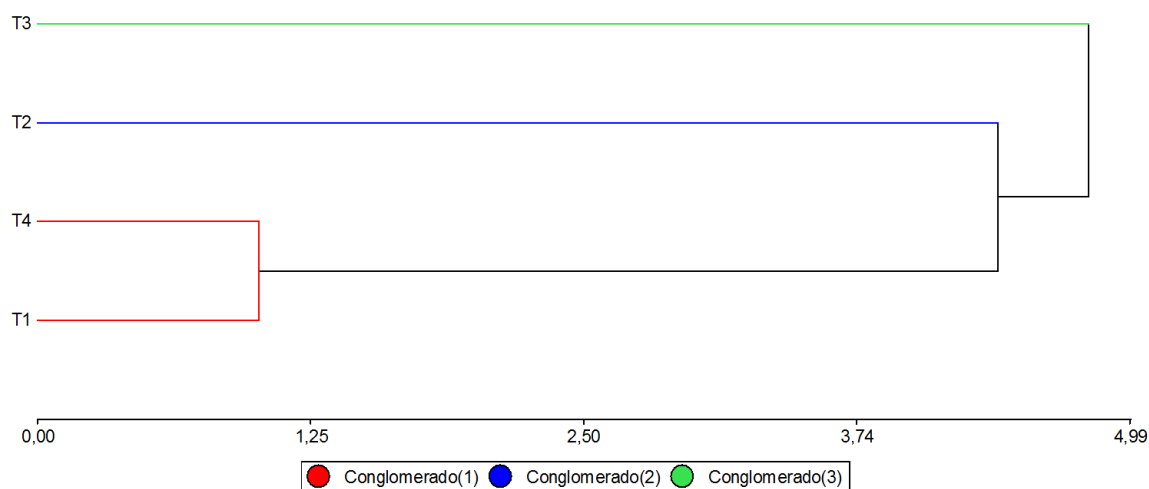


Figura 4: Dendrograma jerárquico construido por el método de Weighted average linkage y basado en las distancias euclidianas ² entre los 4 tratamientos, caracterizado por las 9 variables medidas (CE), (PH), (H), (DA), (DR), (PO), (CF), (I) y (PR).

4. Conclusiones

Esta investigación se estableció conjunto mínimo de datos con 9 variables (pH, conductividad, infiltración, humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad crecimiento fenológico y producción) para evaluar los 4 modelos de labranza sin afectar las características del suelo ni su producción. Para el caso del pH se presenta un valor 5,85 superior al umbral del límite inferior a pesar de aun estar en el rango ligeramente ácido tiende a hacer neutro. La conductividad eléctrica presenta un mayor valor de 124,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lo que

indica que esta en el rango normal, tanto el pH como la conductividad eléctrica del suelo nos indica la dinámica del suelo, disponibilidad de nutrientes y el agua, que son partes fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, microorganismos y en general la vida del suelo. En el tema de la infiltración el tratamiento 2 obtuvo el valor más alto con 2,59 cm/min teniendo característica de un buen drenado lo cual hace que el suelo no sea desagregado y permeable ni que se encuentren saturados los poros. El crecimiento fenológico presento mejor crecimiento en el tratamiento 2 implementando 1 pase de arado cincel, 2 pases de rastra excéntrica y 2 pases de rastrillo pulidor, por ende, la producción es superior a los demás tratamientos.

El análisis mostro las ventajas y desventajas de cada variable teniendo en cuenta a los modelos de labranzas implementados, hay que tener en cuenta que el exceso de los sistemas de labranza o la poca implementación puede hacer que la producción sea significativamente menor.

Se necesita más investigación en este campo para determinar otras proporciones más adecuadas entre los distintos tratamientos de labranza.

5. Referencias

- A. Obi, F. F. C. (2011). Performance of smallholder agriculture under limited mechanization and the fast track land reform program in Zimbabwe. *International Food and Agribusiness Management Review*, 14(4).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chieco.2021.101680>
- Albiero, D., Pontin Garcia, A., Kiyoshi Umez, C., & Leme de Paulo, R. (2022). Swarm robots in mechanized agricultural operations: A review about challenges for research. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193(October 2021), 106608.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106608>
- Alvarado Batres, C., & Barahona-Palomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración utilizados para el cálculo del balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *UNED Research Journal*, 9(1), 23–33.
<https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1674>
- Andrades, M., Moliner, A., & Masaguer, A. (2015). Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos. *Universidad de Rioja*, 5(7), 43.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/580696.pdf>
- Araya, E., & Ossa, C. (1976). *La mecanización en la agricultura colombiana*. 110.
- Barut, Z. B., & Celik, I. (2017). Tillage effects on some soil physical properties in a semi-arid mediterranean region of Turkey. *Chemical Engineering Transactions*, 58(2003), 217–222. <https://doi.org/10.3303/CET1758037>
- Cadena, B. P., Egas B, D., Ruiz, H., Mosquera, J., & Benavides, O. (2012). Efecto de cinco

- sistemas de labranza, en la erosión de un suelo vitric haplustand, bajo cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(2), 116–128.
- Castillo, C. (2005). Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá el Tuma - La Dalia Matagalpa, 2005. *Investigación*, 1–106.
<https://www.redalyc.org/pdf/2631/263123192010.pdf>
- Chaudhary, A. K., Pandit, R., & Burton, M. (2022). Farmyard manure use and adoption of agricultural mechanization among smallholders in the Mahottari District, Nepal. *World Development Perspectives*, 25(February 2021), 100394.
<https://doi.org/10.1016/j.wdp.2022.100394>
- Ciencia En, S., & Pc, №3. (2017). *VISUAL EVALUATION OF THE SOIL QUALITY IN FOUR FARMS OF SUBURBAN AGRICULTURE IN SANTIAGO DE CUBA* Autores. 13–28.
- Cremona, M. V., & Enríquez, A. S. (2020). Algunas Propiedades Del Suelo Que Condicionan Su Comportamiento. *Presencia*, 73, 5–8.
<https://core.ac.uk/download/pdf/335290789.pdf>
- Cristhina Flórez, G. (2018). Métodos de Estudio: Fenología de Plantas. *Asociación Primatológica Colombiana*.
- Escobar Perea, Y., Vargas Batis, B., Ramos García, Y. M., Rodríguez Suárez, E. J., Rodríguez Osoria, O., & Rodríguez Fonseca, R. (2021). Propiedades físicas del suelo en cuatro fincas suburbanas de Santiago de Cuba. *Physical Properties of the Soil in Four Suburban Farms in Santiago de Cuba.*, 48(2), 74–78. <https://0-search.ebscohost.com/biblioteca-ils.tec.mx/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=151345505&lang=es&site=ehost-live>
- García-Centeno, L. (2015). Metodología de campo para determinar la profundidad, la densidad aparente, materia orgánica e infiltración del agua en el suelo. *Unión Europea y UNAG - Nicaragua*, 1(32), 18.
- Goering, & Hanson. (2004). *Engine and tractor power* (A. S. of A. E. (ASAE) (ed.)).
- Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K., & Solórzano-Quintana, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1), 170. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506>
- Houssou, N., & Chapoto, A. (2015). Adoption of Farm Mechanization, Cropland Expansion, and Intensification in Ghana. *AgEcon, The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*.
- Ibañez, S., Moreno, R., & Gisbert, J. (2012). *Técnicas De Medida Del Espacio Poroso Del Suelo*. 4–7. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16872/AD Medida espacio poroso.pdf;jsessionid=2A32A516DFD37BDEF9F62ACABF4247A6?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16872/AD%20Medida%20espacio%20poroso.pdf;jsessionid=2A32A516DFD37BDEF9F62ACABF4247A6?sequence=1)
- Ingaramo, O. E., Paz Ferreiro, J., Mirás Avalos, J. M., & Vidal Vázquez, E. (2007). Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental

- con distintos sistemas de laboreo. *Cadernos Do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 32(32), 127–137.
- Jin, H., Shi, D., Lou, Y. B., Zhang, J., Ye, Q., & Jiang, N. (2021). Evaluation of the quality of cultivated-layer soil based on different degrees of erosion in sloping farmland with purple soil in China. *Catena*, 198(2), 105048. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105048>
- Lal, R. (2014). Societal value of soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation*, 69(6), 186A-192A. <https://doi.org/10.2489/jswc.69.6.186A>
- Martínez, L. J., Vázquez Vázquez, C., Salazar Sosa, E., Zúñiga Tarango, R., Trejo Escareño, H., Salazar Sosa, E., Dimas López Martínez Calle Juan García, J. E., Lerdo, C., & Romulo Raggio, F. (2010). Sistemas de labranza y fertilización en la producción de maíz forrajero Tillage systems and fertilization on yield of forage maize. *Revista Internacional De Botánica Experimental International Journal Of Experimental Botany*, 01(871), 47–54. www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar
- Morales García, I. (2013). Aplicaciones de la robótica en la agricultura, desarrolladas en Holanda. *Dialnet*, 366.
- Moret-Fernández, D., & López, M. V. (2015). Un método sencillo para la estimación de la porosidad de un agregado de suelo. *Estudios En La Zona No Saturada*, XII, 3–6.
- Navarro, R. Z. (2022). *Exportaciones del agro crecieron 24% impulsadas por productos no tradicionales que aumentaron 31% en enero de 2022*. 31–34. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Exportaciones-del-agro-crecieron-24-impulsadas-por-productos-no-tradicionales-que-aumentaron-31-en-enero-de-2022.aspx>
- Olguín López, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Carranza Montaña, J. A., Scopel, E., Barreto García, O. A., Mancilla Villa, O. R., & Talavera Villareal, A. (2017). Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. *Idesia*, 35(1), 51–61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292017005000018>
- Olivet Rodríguez, Y. E., Ortiz Rodríguez, A., & Cobas Hernández, D. (2019). Efecto de dos sistemas de labranza mínima sobre la humedad de un suelo Fluvisol para cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Centro Agrícola*, 46(1), 18–23. <http://cagricola.uclv.edu.cu>
- Osorio, N. W. (2012). pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 4–7. http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH_del_suelo_y_nutrientes_0.pdf
- PDMG, P. de D. M. de G. (2020). Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023. *Acuerdo N. 007 de 2020*, 5(3), 1–407.
- Pearsons, K. A., Omondi, E. C., Zinati, G., Smith, A., & Rui, Y. (2023). A tale of two systems: Does reducing tillage affect soil health differently in long-term, side-by-side conventional and organic agricultural systems? *Soil and Tillage Research*, 226(April

- 2022), 105562. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105562>
- Pingali, P. (2007). Chapter 54 Agricultural Mechanization: Adoption Patterns and Economic Impact. *Handbook of Agricultural Economics*, 3, 2779–2805. [https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(06\)03054-4](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(06)03054-4)
- Qiu, T., Shi, X., He, Q., & Luo, B. (2021). The paradox of developing agricultural mechanization services in China: Supporting or kicking out smallholder farmers? *China Economic Review*, 69(April), 101680. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2021.101680>
- Quichimbo, P., Guamán, J., Cajamarca, M., & Aguirre, A. J. (2016). Evaluación Del Contenido De Humedad Del Suelo Por Gravimetría Y Reflectometría. *ECUADOR ES CALIDAD: Revista Científica Ecuatoriana*, 4(1). <https://doi.org/10.36331/revista.v4i1.25>
- Radulovich, R. (2009). Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 121–124. www.cia.ucr.ac.cr
- Ramos-Escalante, G., de-Coss, A. L., Arce-Espino, C., Escobar-España, J. C., Raj-Aryal, D., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., & Guerra-Medina, C. E. (2018). Allometric equations for estimating biomass and carbon in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the humid tropic of Chiapas, Mexico. *Agrociencia*, 52(5), 671–683.
- Renius, K. T. (2020). *Fundamentals of Tractor Design* (Springer C). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-32804-7>
- Renté-Martí, O., Nápoles-García, M. C., Pablos-Reyes, P., & Vargas-Batis, B. (2018). Efecto de Canavalia ensiformis (L). En propiedades físicas de un suelo fluvisol diferenciado en Santiago de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 59–64.
- Rezaee, L., Moosavi, A. A., Davatgar, N., & Sepaskhah, A. R. (2020). Soil quality indices of paddy soils in Guilan province of northern Iran: Spatial variability and their influential parameters. *Ecological Indicators*, 117(May), 106566. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106566>
- Rodríguez González, A., Arcia Porrua, J., Martínez Cañizares, J. A., García Lamas, J., Cid Lazo, G., & Fleites Castro, J. (2015). Revista Ingeniería Agrícola. *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(2), 55–60. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586261425010>
- Rodríguez, J. H. V., Landin, W. E. C., Carreño, D. de los Á. C., Galarza, F. A. E., Herrera, G. M. I., Cárdenas, A. del R. B., Correa, J. D. G., & Orozco, J. C. D. (2020). Maíz variedad DAS 3383 , La Troncal-Ecuador Effect of 3 forms of fertilization on corn cultivation variety DAS 3383 , DAS 3383 , La Troncal-Ecuador. *Revista Colombiana de Ciencia Animal RECIA*, 0.
- Santos-Francés, F., Martínez-Graña, A., Ávila-Zarza, C., Criado, M., & Sánchez, Y. (2019). Comparison of methods for evaluating soil quality of semiarid ecosystem and evaluation of the effects of physico-chemical properties and factor soil erodibility (Northern Plateau, Spain). *Geoderma*, 354(July), 113872. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.030>

- Sarmiento-Sarmiento, G., Peña-Dávila, J., & Medina-Dávila, H. (2022). Impact of Three Tillage Systems on the Fertility of an Entisol Soil in Arid Zones. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 38(1), 104–113. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS38-10ITGH30010>
- Shao, G., Ai, J., Sun, Q., Hou, L., & Dong, Y. (2020). Soil quality assessment under different forest types in the Mount Tai, central Eastern China. *Ecological Indicators*, 115(April), 106439. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106439>
- Singh, D., Lenka, S., Lenka, N. K., Trivedi, S. K., Bhattacharjya, S., Sahoo, S., Saha, J. K., & Patra, A. K. (2020). Effect of reversal of conservation tillage on soil nutrient availability and crop nutrient uptake in soybean in the vertisols of central India. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/su12166608>
- Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. (1993). Engineering principles of agricultural machines. *Saint Joseph: American Society of Agricultural Engineers*, 6, 601.
- Torres Gómez, E. (2019). Propuesta De Un Sistema De Labranza Reducida (Lr) En Las Haciendas Avelina Y Buchitolo Del Valle Del Cauca, Colombia. *UNAD*.
- Trece, C. (2019). El éxodo colombiano: algunas cifras de migración en el país. *CANAL TRECE*, 1–7.
- Triviño-Pineda, J.-S., Contreras Garcia, J., Amoroch Cruz, C. M., & Sanchez Ramirez, J. E. (2017). Aplicación del concepto de biorrefinería a los residuos generados en el beneficio húmedo del café. *Http://Repositorio.Usco.Edu.Co/*, 1(1), 1–94. <http://repositorio.usco.edu.co/bitstream/123456789/351/1/TH IA 0237.pdf>
- Triviño, J. (2015). Impacto ambiental por el uso excesivo de monocultivo Environmental impact from overuse of monoculture. *Academia*.
- Triviño Pineda, J. S., & Contreras Garcia, J. (2016). Evaluación de métodos de aplicación de fertilizantes para el crecimiento y desarrollo en el cultivo de pimentón bajo invernadero. *Academia*. <https://www.academia.edu/41999117/Evalua>
- Yanes Buezo, R. F., & Banegas Saravia, J. F. (2021). Evaluación de dos sistemas de labranza en la producción de maíz para ensilaje. *Escuela Agrícola Panamericana , Zamorano Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria Ingeniería Agronómica*, 36. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/7147>