



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 30 de Mayo del 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Yesid Mora Montoya, con C.C. No. 1077875335,

Ivan Dario Gorron Cartagena, con C.C. No. 1077865980,

, con C.C. No. ,

, con C.C. No. ,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o proyecto de grado

titulado Efectos de tres modelos de labranza sobre los parámetros físicos del suelo,

comparándolos con las condiciones iniciales de un suelo no perturbado, en la granja "Rancho bonito"

ubicado en la vereda "San Juan del Barro" en Florencia, Caquetá

presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de

Ingeniero Agrícola ;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Efectos de cuatro modelos de labranza sobre los Parámetros físicos del suelo, en la granja rancho bonito, ubicado en la vereda san Juan del barro en Florencia Caquetá.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mora Montoya Gorrón Cartagena	Yesid Iván Darío

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Parra Méndez	Erneth

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería agrícola

CIUDAD: Garzón

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 49

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 3

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías x Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas x Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros x

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Microsoft office, Adobe Acrobat Reader

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Physical</u>	<u>Español</u>	<u>English</u>
1. <u>Suelo</u>	<u>Floor</u>	6. <u>Cinzel</u>	<u>Chisel</u>
2. <u>Arado</u>	<u>Plow</u>	7. <u>Efectos</u>	<u>Effects</u>
3. <u>Maíz</u>	<u>Corn</u>	8. <u>Producción</u>	<u>Productio</u>
4. <u>Modelo</u>	<u>Model</u>	9. <u>Crecimiento</u>	<u>Growth</u>
5. _____	_____	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La pérdida de algunos atributos tanto físico como químicos y la erosión del suelo, generan gran impacto en la inestabilidad del suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de cuatro modelos de labranza (Tratamiento 1; dos pasos de rastra excéntrica, dos paso de rastrillo pulidor y un pase de siembra del maíz, para el tratamiento 2; un paso de arado de cinzel, dos pasos de rastra excéntrica, dos paso de rastrillo pulidor y un pase de siembra del maíz, tratamiento 3; dos paso de arado de cinzel, dos pasos de rastra excéntrica, dos paso de rastrillo pulidor y un pase de siembra del maíz y el tratamiento 4 o testigo; un pase de siembra del maíz) sobre los parámetros físicos del suelo (textura, estructura, porosidad, densidad aparente, densidad real, infiltración, humedad, plasticidad y el color) en un cultivo de maíz forrajero, en los tratamientos se manejó un diseño factorial en bloques completamente al azar con tres repeticiones, se realizaron análisis ANOVA por una vía, ANOVA por dos vías y análisis con tablas de contingencia. Los resultados



mostraron un cambio de textura, color, porosidad, densidad aparente, densidad real, infiltración, humedad, compactación y plasticidad el suelo en los tratamientos T1, T3 y T4, que fueron afectados en 1 %, el 3,4 % y el 11,6 % y el crecimiento de las plantas como la producción de los cultivos de 1,5 %, 3 % y el 11,5 % respectivamente. El efecto del modelo de sistema de labranza fue menor en el tratamiento 2 (T2), el cual presentó mayores rendimientos tanto en crecimiento de la planta como en la producción de los cultivos siendo 37,39 ton/has y 290,67 cm respectivamente.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The loss of some physical and chemical attributes and soil erosion generate a great impact on soil instability. The objective of this study was to evaluate the effects of four tillage models (Treatment 1; two steps with an eccentric harrow, two steps with a polishing rake and one pass for maize planting, for treatment 2; one step with a chisel plow, two steps of eccentric harrow, two steps of polishing rake and one pass of corn planting, treatment 3; two steps of chisel plow, two steps of eccentric harrow, two steps of polishing rake and one pass of corn planting and treatment 4 or control; a maize sowing pass) on the physical parameters of the soil (texture, structure, porosity, apparent density, real density, infiltration, humidity, plasticity and color) in a forage maize crop, in the treatments it was managed a completely randomized block factorial design with three replicates, one-way ANOVA, two-way ANOVA and analysis with contingency tables were performed. The results showed a change in texture, color, porosity, apparent density, real density, infiltration, humidity, compaction and plasticity of the soil in the treatments T1, T3 and T4, which were affected in 1 %, 3,4 % and the 11,6% and plant growth as crop production of 1,5%, 3% and 11,5% respectively. The effect of the tillage system model was lower in treatment 2 (T2), which presented higher yields both in plant growth and in crop production, being 37,39 ton/ha and 290,67 cm respectively.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Diana Carolina Polania Montiel

Firma:

Nombre Jurado: Luis Humberto Martínez Palmeth

Firma:

**EFFECTOS DE CUATRO MODELOS DE LABRANZA SOBRE LOS PARÁMETROS
FÍSICOS DEL SUELO, EN LA GRANJA RANCHO BONITO, UBICADO EN LA
VEREDA SAN JUAN DEL BARRO EN FLORENCIA CAQUETÁ**

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autores

Yesid Mora Montoya, Cód. 20141127194

Iván Darío Gorrón Cartagena, Cód. 20141125548

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Garzón, Huila, Colombia. 2023

Director: Erneth Parra Méndez

Nota de aceptación

Jurado:

Jurado:

EFFECTOS DE TRES MODELOS DE LABRANZA SOBRE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DEL SUELO, EN LA GRANJA RANCHO BONITO, UBICADO EN LA VEREDA SAN JUAN DEL BARRO EN FLORENCIA CAQUETÁ

CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	10
3. OBJETIVOS.....	11
3.1. OBJETIVO GENERAL	11
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4. MARCO TEÓRICO	12
4.1. HISTORIA DE LA LABRANZA	12
4.2. OPERACIONES BÁSICAS DE LA LABRANZA.....	12
4.3. MECANIZACIÓN AGRÍCOLA.....	13
4.4. EFECTOS ECOLÓGICOS DE LA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA.....	14
4.5. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	15
4.5.1. ESTRUCTURA DEL SUELO.....	15
4.5.2. LA PROFUNDIDAD DEL SUELO	15
4.5.3. LA TEXTURA DEL SUELO	16
4.5.5. CONSISTENCIA DEL SUELO	16
4.5.6. POROSIDAD DEL SUELO	16
4.5.7. DENSIDAD DEL SUELO	16
4.5.8. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO	17
4.6. MODELOS DE LABRANZA	17
4.6.1. LABRANZA CONVENCIONAL (LC)	17
4.6.2. LABRANZA MÍNIMA O REDUCIDA.....	18
4.6.3. LABRANZA DE CONSERVACIÓN	18
4.7. ARADOS.....	18
4.7.1. ARADO DE DISCO	18
4.7.2. ARADO DE VERTEDERA	18
4.7.3. ARADO DE RASTRA	18
4.7.4. ARADO DE CINCEL	19
4.8. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE MAIZ (<i>Zea mays</i> L.)	19
5.1. LOCALIZACIÓN	20
5.2. TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	20

5.2.1.	ÁREA EXPERIMENTAL	20
5.2.3.	MUESTREO	21
5.3.	ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS	22
5.3.1.	TEXTURA.....	22
5.3.2.	COLOR.....	23
5.3.3.	PH	24
5.3.4.	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	24
5.3.5.	HUMEDAD	25
5.3.6.	PLASTICIDAD	25
5.3.7.	DENSIDAD APARENTE	26
5.3.8.	DENSIDAD REAL	27
5.3.9.	POROSIDAD	28
5.3.10.	INFILTRACIÓN	28
5.3.11.	CRECIMIENTO FENOLÓGICO	29
5.3.12.	PRODUCCIÓN DE SILO	29
5.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	30
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
6.1.	TEXTURA	30
6.2.	COLOR	30
6.3.	PH	31
6.4.	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	32
6.5.	HUMEDAD.....	33
6.6.	PLASTICIDAD	34
6.7.	DENSIDAD APARENTE	34
6.8.	DENSIDAD REAL	35
6.9.	POROSIDAD	36
6.10.	INFILTRACIÓN	37
6.11.	CRECIMIENTO FENOLÓGICO	38
6.12.	PRODUCCIÓN	39
7.	CONCLUSIONES	41
8.	RECOMENDACIONES	42
9.	REFERENCIAS	43

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio del proyecto de investigación delimitada en 4 partes iguales	20
Figura 2: Metodología de toma de muestras de suelo.....	22
Figura 3: Ensayo para determinar la textura del suelo	23
Figura 4: Montaje para la medición de la humedad.....	23
Figura 5: Equipo para la medición de pH	24
Figura 6: Equipo para la medición de la conductividad.....	24
Figura 7: Montaje para la medición de la humedad.....	25
Figura 8: Ensayo para determinar la plasticidad del suelo mojado	26
Figura 9: Montaje del método del terrón parafinado	26
Figura 10: Montaje para la medición de la densidad real	27
Figura 11: Montaje para la medición de la infiltración.....	28
Figura 12: Método de medición en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de maíz forrajero Zea mays L, variedad ATL 200 con una edad de 35 días.	29
Figura 13: Método de pesaje del maíz	29
Figura 14: pH del suelo antes y después de la intervención de la maquinaria en los diferentes tratamientos	32
Figura 15: Conductividad eléctrica del suelo (uS/cm) antes y después del uso de maquinaria en los diferentes tratamientos.....	33
Figura 16: Humedad del suelo (%) antes y después del uso de maquinaria en los diferentes tratamientos	34
Figura 17: Densidad aparente del suelo (g/cm ³) antes y después del uso de la maquinaria en los diferentes tratamientos.....	35
Figura 18: Densidad real del suelo (g/cm ³) antes y después del uso de maquinaria en los diferentes tratamientos ..	36
Figura 19: Porosidad del suelo (%) antes y después del uso de maquinaria en los diferentes tratamientos	37
Figura 20: Curva de Infiltración del suelo (cm/min) en los diferentes tratamientos	38
Figura 21: Crecimiento de maíz (cm) Zea mays variedad ATL 200 en los diferentes tratamientos	39
Figura 22: Curva de crecimiento del cultivo (cm) desde el proceso de germinación hasta la cosecha, en los diferentes tratamientos	39
Figura 23: Producción de maíz (Ton/has) en los diferentes tratamientos	40

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1: Tratamientos, número y tipo de pases.....	21
Tabla 2: Parámetros, métodos y referencias de los análisis a realizar.....	22
Tabla 3: Tabla de frecuencias para el color por tratamiento	30
Tabla 4: Tabla de datos del pH del suelo por tratamientos	31
Tabla 5: Tabla de datos de la conductividad del suelo por tratamientos.....	32
Tabla 6: Tabla de datos de la humedad del suelo por tratamientos.....	33
Tabla 7: Tabla de datos de densidad aparente del suelo por tratamientos.....	34
Tabla 8: Tabla de datos de densidad aparente del suelo por tratamientos.....	35
Tabla 9: Tabla de datos de porosidad del suelo por tratamientos.....	36
Tabla 10: Tabla de datos de infiltración del suelo por tratamientos.....	37
Tabla 11: Tabla de datos del crecimiento fenológico del maíz forrajero por tratamientos	38
Tabla 12: Tabla de datos de la producción de maíz forrajero por tratamientos	40

CONTENIDO DE ECUACIONES

Ecuación 1: Porcentaje de humedad del suelo.....	25
Ecuación 2: Densidad aparente del suelo.....	26
Ecuación 3: Densidad real del suelo.....	27
Ecuación 4: Porosidad del suelo.....	28

RESUMEN

La pérdida de algunos atributos tanto físico como químicos y la erosión del suelo, generan gran impacto en la inestabilidad del suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de cuatro modelos de labranza (Tratamiento 1; dos pasos de rastra excéntrica, dos pasos de rastrillo pulidor y un pase de siembra del maíz, para el tratamiento 2; un paso de arado de cincel, dos pasos de rastra excéntrica, dos pasos de rastrillo pulidor y un pase de siembra del maíz, tratamiento 3; dos pasos de arado de cincel, dos pasos de rastra excéntrica, dos pasos de rastrillo pulidor y un pase de siembra del maíz y el tratamiento 4 o testigo; un pase de siembra del maíz) sobre los parámetros físicos del suelo (textura, estructura, porosidad, densidad aparente, densidad real, infiltración, humedad, plasticidad y el color) en un cultivo de maíz forrajero, en los tratamientos se manejó un diseño factorial en bloques completamente al azar con tres repeticiones, se realizaron análisis ANOVA por una vía, ANOVA por dos vías y análisis con tablas de contingencia. Los resultados mostraron un cambio de textura, color, porosidad, densidad aparente, densidad real, infiltración, humedad, compactación y plasticidad el suelo en los tratamientos T1, T3 y T4, que fueron afectados en 1 %, el 3,4 % y el 11,6 % y el crecimiento de las plantas como la producción de los cultivos de 1,5 %, 3 % y el 11,5 % respectivamente. El efecto del modelo de sistema de labranza fue menor en el tratamiento 2 (T2), el cual presentó mayores rendimientos tanto en crecimiento de la planta como en la producción de los cultivos siendo 37,39 ton/ha y 290,67 cm respectivamente.

ABSTRACT

The loss of some physical and chemical attributes and soil erosion generate a great impact on soil instability. The objective of this study was to evaluate the effects of four tillage models (Treatment 1; two steps with an eccentric harrow, two steps with a polishing rake and one pass for maize planting, for treatment 2; one step with a chisel plow, two steps of eccentric harrow, two steps of polishing rake and one pass of corn planting, treatment 3; two steps of chisel plow, two steps of eccentric harrow, two steps of polishing rake and one pass of corn planting and treatment 4 or control; a maize sowing pass) on the physical parameters of the soil (texture, structure, porosity, apparent density, real density, infiltration, humidity, plasticity and color) in a forage maize crop, in the treatments it was managed a completely randomized block factorial design with three replicates, one-way ANOVA, two-way ANOVA and analysis with contingency tables were performed. The results showed a change in texture, color, porosity, apparent density, real density, infiltration, humidity, compaction and plasticity of the soil in the treatments T1, T3 and T4, which were affected in 1 %, 3,4 % and the 11,6% and plant growth as crop production of 1,5%, 3% and 11,5% respectively. The effect of the tillage system model was lower in treatment 2 (T2), which presented higher yields both in plant growth and in crop production, being 37,39 ton/ha and 290,67 cm respectively.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de labranza agrícolas son muy importantes para la producción de cultivos, porque buscan crear condiciones favorables para el desarrollo normal de los cultivos es decir, la germinación de semillas, el desarrollo del sistema radicular y el crecimiento de las plantas, que finalmente se reflejan en un buen rendimiento (Jaurixje et al., 2013).

En los últimos años, los países desarrollados han aumentado su interés en el uso eficaz de la energía y la protección de los recursos hídricos y terrestres, principalmente en lugares donde los recursos son escasos. La situación anterior ha provocado cambios en las actitudes hacia las prácticas de gestión, el suelo y los desechos (Triviño-Pineda et al., 2021; Triviño Pineda et al., 2021). Cada año se enfoca más en el uso de una labranza mínima y en la preparación de semilleros en la agricultura de secano. Los agricultores que utilizan la labranza mínima o la labranza secundaria cambian las propiedades físicas del suelo, tratando de crear las mejores condiciones para la siembra, la germinación, el crecimiento y el rendimiento de los cultivos (FAO, 2000).

Por ejemplo, los cultivos como gramíneas o leguminosas son importantes dentro de los procesos que ocurren en el suelo, debido a la distribución del sistema radicular, la composición y disposición de los residuos en la superficie (Balota et al., 2014). Las gramíneas presentan raíces con una alta capacidad de agregación del suelo, debido a las características morfológicas y fisiológicas en los suelos clasificados como Luvisol, Aksarben y Oxisol (Blanco-Canqui & Jasa, 2019). Mientras que en el caso de las leguminosas tienen un sistema de raíz pivotante con mayor diámetro que la del maíz (de Souza et al., 2016).

La estructura, la infiltración, la retención de agua en el suelo entre otras, controla el crecimiento, desarrollo de las plantas, los intercambios de gases, la dinámica de la materia orgánica y los nutrientes (Silva et al., 2021). Para que esto ocurra, es fundamental tener en cuenta las técnicas agronómicas, que favorecen la unión de las fracciones minerales y orgánicas del suelo formando agregados de diferentes tamaños y estabilidad. Las disposiciones de los agregados condicionan la distribución de los poros, para mejorar la aireación, infiltración y retención de agua, regulando así las relaciones suelo-planta-atmósfera (de Souza et al., 2016; Hill, 1990).

Teniendo en cuenta la clasificación taxonómica de los suelos de U.S.A. y el estudio hecho por CORPOICA en Florencia Caquetá, se puede clasificar el suelo de la granja Rancho Bonito como un Entisol, con suborden Fluvent, puesto que este suelo es de origen aluvial derivado del río Hacha, además los cultivos como los sistemas de labranza afectan de manera directa la estructura del suelo, cooperando a la preservación de los recursos naturales (Silva et al., 2021), sin presentar cambio en su perfil de suelo hasta una profundidad de entre los 75 y 85 cm aproximadamente, esto hace que haya dificultad a la hora de cultivar, por ello, se pretende implementar diferentes modelos de labranza y así saber cuál optimiza las propiedades físicas del suelo y se adapta más a las necesidades de un cultivo de maíz forrajero.

Este proyecto pretende evaluar los efectos de cuatro modelos de labranza sobre los parámetros físicos del suelo (textura, estructura, porosidad, densidad aparente, densidad real, infiltración, humedad, plasticidad y el color) en la granja Rancho bonito, ubicado en la vereda San Juan del

Barro”, en Florencia - Caquetá de los cuales se encuentran parámetros fáciles, rápidos y económicos en instrumentación (Tabla 2), que se pueden tener en cuenta como referentes en los sistemas de labranza de producción de los cultivos. Además, a través de este estudio, los parámetros a evaluar permitirán la factibilidad de réplicas en las diferentes fincas del municipio de Florencia desde un punto de vista técnico y económico, en apoyo a la comunidad y, por último, se despierta el interés de comunidades y autoridades en el buen uso del suelo.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Una de las principales preocupaciones en los últimos años a nivel mundial, es sobre la preservación de los recursos naturales (Connor, 2015). Dentro de estos recursos se incluye el suelo, con la función principal de apoyar el crecimiento y desarrollo de las plantas (Brady & Weil, 2013). Sin embargo, la opción de deforestar y el manejo inapropiado ha llevado a la degradación del suelo, lo que conlleva a un problema ambiental enorme (Silva et al., 2021). Esto contribuye al aumento de las emisiones de CO₂ a la atmosfera agravando los efectos del calentamiento global (Silva et al., 2021; Six & Paustian, 2014).

Otro de los problemas es la expansión de nuevas áreas para la agricultura, por las proyecciones del crecimiento de la población mundial al año 2030 que revelan más de 8,6 mil millones de habitantes en el mundo (ONU, 2017). Por tanto, la principal alternativa es incrementar la producción de alimentos con el uso de técnicas agronómicas, aumentando el rendimiento en la producción, minimizando el uso de insumos y sobre todo evitar las pérdidas por erosión del suelo (Silva et al., 2021).

Los suelos que son sometidos a los sistemas de labranza convencionales, que se basa en la utilización de discos (rastra pesada o arado rastra) que se remueven mediante operaciones de arado y se desgarran antes de plantar o sembrar el cultivo, con el propósito de aumentar la aireación del suelo, añadir neutralizadores de acidez al suelo y residuos vegetales (Bertol et al., 2004). Este método presenta ventajas y desventajas como cualquier otro sistema de labranza, los puntos negativos es que interviene la estructura del suelo, el potencial de degradación y la erosión (Portella et al., 2012). Desde hace un tiempo atrás, se ha adoptado los sistemas de labranzas convencionales por el control de malezas en áreas agropecuarias (Silva et al., 2021). Hoy en día con la aplicación de herbicida característicos, o el sistema de labranza convencional ,solo se implementa para determinadas ocasiones, como la corrección de la acidez para implementar sistemas de conservación, como es el caso de la labranza cero (Silva et al., 2021).

El proyecto de investigación tiene como objetivo servir como punto de partida para introducir en el buen uso del suelo y de los tipos de labranzas utilizándolo para mejorar las producciones de los cultivos. Al abordar los problemas ambientales se pueden realizar investigaciones más profundas (investigación aplicada) en los modelos de labranza. Además, también permite la difusión del conocimiento a través de la transferencia de tecnología, para que se puedan brindar productos y servicios a la comunidad.

Por último, esta investigación permite que el sector educativo, la CAR, o dependencias ambientales implementen de la mejor forma los sistemas de labranza haciendo un buen uso del suelo, lo que puede generar un precedente para la región.

.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de cuatro modelos de labranza teniendo en cuenta los parámetros físicos del suelo (textura, color, porosidad, densidad aparente, densidad real, infiltración, humedad, compactación y plasticidad), la producción de biomasa y el desarrollo fenológico del cultivo, en la granja Rancho Bonito, ubicado en la vereda San Juan del Barro, en la ciudad de Florencia Caquetá.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las propiedades físicas del suelo (textura, color, porosidad, densidad aparente, densidad real, infiltración, humedad, compactación y plasticidad) en cuatro modelos de labranza.
- Estudiar los cambios físicos del suelo en los diferentes tratamientos mediante datos cuantitativos y cualitativos.
- Determinar estadísticamente el modelo de labranza que incida favorablemente en las propiedades físicas del suelo, mejor desarrollo fenológico y mayor producción de biomasa.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. HISTORIA DE LA LABRANZA

Los seres humanos antiguamente se constituyeron como nómadas, utilizaron los recursos naturales para la alimentación y desarrollo. Una vez que cambian su estilo de vida de nómadas se volvieron sedentarios e iniciaron la actividad hoy denominada como agricultura, desde sus inicios ha sido una parte muy importante de la evolución en los seres humanos basado en el desarrollo de la agricultura (Alvarado, 2004). Al principio los agricultores trabajaban la tierra con las manos hasta que inventaron las primeras herramientas. Posteriormente se domesticaron algunos animales, como caballos y vacas, que ayudaban a las personas a participar en el trabajo dual de labrar la tierra y producir comida. El trabajo animal acompañante es la invención de herramientas como el arado y, muchas otras y también cambiando en términos de sus materiales constitutivos (Mendoza Alcívar & Valdez Rodríguez, 2015). Otro de los factores que han ayudado a cambios importantes en la agricultura es la gran diversidad de cultivos, lo que hace que los humanos diseñaran y fabricaran las máquinas especiales de acuerdo con el tipo de cultivo, siendo actualmente uno de los campos de la innovación agrícola, la mecanización y la maquinaria para la realización de la labranza agrícola (Alvarado, 2004; Mendoza Alcívar & Valdez Rodríguez, 2015).

4.2. OPERACIONES BÁSICAS DE LA LABRANZA

En la labranza se desarrollan operaciones básicas, como es el volteo, esta operación transforma el suelo en el nivel de la tierra cultivable, es decir, fusiona las capas superficiales y trae las capas inferiores a la superficie. La necesidad de transportar materiales de la superficie al suelo y traer un horizonte más profundo a la superficie se limita a situaciones muy específicas. El arado se usa en las diferentes etapas del cultivo, y se argumenta del que el arado se utiliza para el control de la maleza, por lo que no es válido debido a que saca las semillas a la superficie sin poder desarrollarse. Es razonable usar un arado cuando la tracción es limitada y el equipo de siembra es simple y requiere una superficie de suelo limpia (Durán, 2020; Mendoza Alcívar & Valdez Rodríguez, 2015).

La operación de mezclar es homogenizar todos los materiales del suelo hasta una cierta profundidad. En algunos casos, esto puede ser razonable, como promover la descomposición del rastrojo en climas templados. La profundidad de mezcla es generalmente poco profunda aproximadamente de unos 10 cm (Mendoza Alcívar & Valdez Rodríguez, 2015).

La rotura es una operación que puede separar el suelo sólido, abrir grietas y aflojar el suelo sin quitarlo. En el caso de suelo compactado mecánicamente o suelo con estructura inestable, esta operación permite abrir suficientes poros en el suelo para permitir que el agua penetre. Sin

embargo, los efectos residuales de la labranza varían mucho según las características del suelo y los tratamientos posteriores (Durán, 2020).

Pulverizar descompone los terrones del suelo más grandes formando una capa de partículas finas del tamaño de una semilla; es necesario la preparación de un lecho de semillas. De esta forma solo tiene sentido en superficies muy delgadas. Es razonable pulverizar el horizonte poco profundo, como si se usara una ruleta o una grada de discos. Hoy en día, existe una técnica que puede sembrar la mayoría de los cultivos sin pulverizar la cama de las semillas (Durán, 2020; Mendoza Alcívar & Valdez Rodríguez, 2015; Triviño Pineda, 2015).

Compactar es necesario después de un arado profundo poco antes de plantar. El suelo se compacta para asegure el contacto capilar con el agua subterránea. En un área más pequeña, se coloca las semillas en filas y se apretá durante el proceso de siembra para asegurarse de que las semillas estén en contacto con el agua. Con la grada de discos, las cinco operaciones se realizan siempre al mismo tiempo, dejando el horizonte superficial roto y el horizonte debajo del disco (compactado). El resultado a largo plazo es la degradación del suelo con una compactación severa (Triviño Pineda, 2015). La preparación del semillero se puede realizar mediante labranza convencional y labranza reducida en todos los métodos alternativos de siembre directa (Durán, 2020; Mendoza Alcívar & Valdez Rodríguez, 2015).

4.3. MECANIZACIÓN AGRÍCOLA

A lo largo de los años, debido a la integración de la agricultura y la tecnología en proceso. El uso de máquinas, equipos modernos y la eficiencia es un factor importante en la agricultura, porque producen mayores rendimientos. La mecanización implica el uso de diferentes máquinas, equipos y sistemas en la producción agrícola orientados a incrementar la productividad y búsqueda del desarrollo sostenible de actividades de la agricultura (Peralvo, 2010). También se considera la mecanización en la gestión del agua de los cultivos a través del sistema de riego y drenaje, además del tratamiento de equipos de productos agrícolas (Mendoza Alcívar & Valdez Rodríguez, 2015).

La mecanización agrícola se entiende como parte integral de la ingeniería aplicada, incluyendo los aspectos de la agricultura y el desarrollo rural. En muchos países industrializados, la investigación científica agrícola ha posicionado la producción agrícola tanto a nivel nacional como internacional; la mecanización agrícola es un progreso complementario en ingeniería agrícola ayudando a lograr este objetivo (Mathias & Thomas, 2021; Smith et al., 1994). La mecanización agrícola en términos generales, se refiere a cualquier herramienta utilizada para producir o procesar productos. El mismo autor mencionó que una definición más técnica sugiere que la mecanización agrícola puede mejorar la eficiencia del trabajo agrícola, producir más y mejores productos mediante el uso de herramientas con el menor tiempo y menor costo y fuerza física (Hernández Flores, 2021; Ulloa, 1989).

Sin embargo, en muchos casos resulta negativa la aplicación de máquinas agrícola, debido a las condiciones naturales y socioeconómicas de otros países. La mecanización agrícola aplicada es necesaria en base a las características del medio físico, requerimientos de los cultivos y procesos de producción, además de tener una importancia social y económica fundamental para el aumento de la productividad en el cultivos (Mendoza Alcívar & Valdez Rodríguez, 2015)

La selección de maquinaria para una finca o terreno agrícola, implica que el usuario analice la información relacionada con (Donaire, 2014):

- Situación económica actual del agricultor y los cambios a que se verá sometido.
- Información relacionada con el rendimiento probable de las máquinas.
- La rentabilidad, compatibilidad y uso sostenible.
- Riesgos mínimos dentro de la infraestructura técnica, económica y social ya existente o que pueda mejorarse.

4.4. EFECTOS ECOLÓGICOS DE LA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA

Los efectos que producen la mecanización agrícola son (Dencker, 1966; Lanza González et al., 2019):

- El laboreo permanente provoca la aireación permitiendo que elementos nutritivos se destruyan con mayor rapidez, generando erosión por poca que sea la pendiente del suelo.
- El labrado continuo y la exageración de las labores son la principal causa del empobrecimiento de la tierra.
- A mayor mecanización corresponde mayor proporción de tiempo gastado en preparación, equipos y pérdidas, de tal manera que para las mayorías de las máquinas se puede esperar un rendimiento normal en días de empleo favorable.
- El volumen de producción crece con la solución técnica y biológica, bien sea incrementando los rendimientos o ya sea implantando cultivos más productivos.
- Acorta las jornadas de trabajo y alivia el esfuerzo físico de los trabajadores agrícolas.
- El costo de mano de obra aumenta mucho al intensificarse la mecanización.
- Es beneficioso una buena labranza porque adecua la aireación para el desarrollo de las raíces, mejor drenaje del agua, adecuada regulación de la temperatura, mejor retención de humedad entre otras.

4.5. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Las propiedades físicas del suelo es una parte fundamental de un conjunto de características que determinan el entorno en el que se permite que se desarrolle la vida vegetal. Todos estos están relacionados con partículas elementales, con su agrupamiento, compactación o densidad, porosidad, temperatura y color (Buckman & Brady, 2003). La vida útil de las plantas depende de la relación entre las raíces y el suelo, las raíces deben contar con un medio de cultivo para su desarrollo a fin de lograr el objetivo de obtener soporte y aportar los macro y micronutrientes necesarios para el normal desarrollo de las plantas. Si las propiedades físicas son limitadas, obtendrá plantas con un desarrollo de raíces restringido, crecimiento lento, pocos tallos, hojas pequeñas, marchitez temporal, madurez temprana de la planta y rendimiento limitado. Las características físicas no son independientes, sino que interactúan entre sí, estableciendo la relación entre suelo, aire, luz y agua, y con las características químicas, determinan la calidad del suelo como medio de crecimiento (Honorato, 1997; Lanza González et al., 2019).

La capacidad de producción del suelo puede modificarse aplicando la tecnología adecuada que debe asegurar que las plantas cuenten con las condiciones físicas más favorables posibles, los métodos agrícolas tradicionales (siembra directa, arada y rastrillo), despresurizar el suelo para crear poros más grandes y crear las mejores condiciones para retener las semillas. El método de labranza cero selecciona las condiciones naturales, sumado a la participación de los residuos en la superficie del suelo y la materia orgánica y sus componentes microbianos, estos componentes microbianos tienen un gran impacto en las propiedades físicas, estas características mejoran significativamente la calidad física del suelo (Crovetto, 2002). A continuación, se presentan alguna de las características del suelo:

4.5.1. ESTRUCTURA DEL SUELO

Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y unidades de mayor tamaño nombrados por Peds. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas (Nasab et al., 2021).

4.5.2. LA PROFUNDIDAD DEL SUELO

La definición original del suelo se denominaba como la capa superficial del suelo (horizonte A) junto con el subsuelo (E y B). El horizonte C se definía como estratos con poca formación edafogenética. De este modo la profundidad efectiva del suelo fue considerada como la espesura del suelo. Sin embargo, la presencia de raíces y la actividad biológica que frecuenta a menudo en

horizonte C realza la importancia de incluir este horizonte en la definición de profundidad del suelo (FAO, 2019; Sun et al., 2021).

4.5.3. LA TEXTURA DEL SUELO

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO, 2019; Hao et al., 2021).

4.5.4. COLOR DEL SUELO

El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta. Se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato (FAO, 2019; Schmidt & Ahn, 2021).

4.5.5. CONSISTENCIA DEL SUELO

La consistencia es la propiedad que define la resistencia del suelo a la deformación o ruptura que pueden aplicar sobre él. Según su contenido de humedad la consistencia del suelo puede ser dura, muy dura y suave. Se mide mediante tres niveles de humedad; aire-seco, húmedo y mojado (FAO, 2019; Schmidt & Ahn, 2021).

4.5.6. POROSIDAD DEL SUELO

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45 % minerales y 5 % materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (FAO, 2019; YU et al., 2021).

4.5.7. DENSIDAD DEL SUELO

Mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en

general está alrededor de $2,65 \text{ Mg/m}^3$. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas (Capowiez et al., 2021; FAO, 2019).

4.5.8. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO

El agua fluye en el suelo debido a varios tipos de fuerzas como de gravedad, ascenso capilar y osmosis. Entre fuerzas de succión 0 y $1/3$ bar el agua fluye en el suelo por las fuerzas de gravedad, este fenómeno se nombra por flujo saturado. Fuerzas de succión más elevadas se nombran flujos no saturados. Los flujos de agua se pueden medir en campo mediante la Conductividad Hidráulica. Se puede obtener información fundamental en la circulación del agua en el suelo mediante la descripción de suelos de las clases de drenaje y sus características asociadas (propiedades gléyicas y stágnicas) (FAO, 2019; Liang et al., 2017).

4.6. MODELOS DE LABRANZA

En América Latina a pesar de que se conoce los efectos negativos que se produce en el suelo, se sigue implementando el modelo de labranza convencional. Una de las propuestas que se plantea con el fin de mitigar el inconveniente del uso inapropiado del suelo y que se enmarque dentro del desarrollo sostenible es la labranza de conservación, que está en la fase inicial con la difusión entre los agricultores, pero se hace necesario emplear extensión más agresiva (Pereira Morales et al., 2011). Para poder entender sobre los fenómenos es necesario comprender cada uno de los modelos de labranza como se menciona a continuación:

4.6.1. LABRANZA CONVENCIONAL (LC)

En la labranza convencional se refiere a lo establecido en virtud de las costumbres, en base al conjunto de operaciones tanto primarias como secundarias que sirven para preparar una cámara de siembra para un cultivo en una región geográfica específica (Pereira Morales et al., 2011). La labranza primaria agrupa operaciones como corte, fracturación e inversión del prisma del suelo; donde se anexa los residuos vegetales que se encuentran en la superficie. La labranza secundaria es la que se realiza después de la labranza primaria que son necesarios para adecuar la cama de semillas mediante el desterronamiento, mullimiento y conformación de los suelos. El objetivo esencial de la labranza secundaria es la de disgregar los terrones presentes en el suelo además de la nivelación de la superficie para así generar un ambiente propicio para la germinación de las semillas (Morales Zapata, 2015; Pereira Morales et al., 2011).

4.6.2. LABRANZA MÍNIMA O REDUCIDA

Es un uso de menos pases de las herramientas respecto a la labranza convencional, dentro de sus funciones se tiene la suspensión de operaciones, reducción de las mismas e integración de equipos (Morales Zapata, 2015).

4.6.3. LABRANZA DE CONSERVACIÓN

En el sistema de labranza de conservación se tiene el concepto de usar cualquier apero o herramienta que como mínimo el 30% de los residuos queden en la superficie del suelo con el fin de minimizar la erosión (Morales Zapata, 2015).

4.7. ARADOS

Los arados son un tipo de herramientas que tiene como objetivo abrir los surcos y remover el suelo antes de sembrar las semillas. Una de las características primordiales es la separación y el volteo del suelo, de tal forma que tanto la vegetación como estiércol presente en la superficie quede en lo profundo y lo profundo pase a la superficie quedando expuesta a los agentes atmosféricos (Ahmadi & Mollazade, 2009).

4.7.1. ARADO DE DISCO

El arado de disco es una de las herramientas más aceptadas e implementadas por los agricultores que la usan a cualquier condición del suelo. Este tipo de herramientas se usan en la labranza primaria con discos de gran peso y tamaño de tipo Rome Plow, ya que los aperos son de formas muy diversas con el objetivo de allanar la capa superficial. También se consigue la eliminación de las malas hierbas, rompe la costra y mullir la capa superficial generando aireación (Morales Zapata, 2015; Pereira Morales et al., 2011).

4.7.2. ARADO DE VERTEDERA

En este implemento aumenta el grado de mullimiento, e incorporar residuos de la superficie del suelo. Esta herramienta está formada por la reja y las vertederas, también está condicionada a la profundidad de la capa arable (50 a 60 cm) (Pereira Morales et al., 2011).

4.7.3. ARADO DE RASTRA

Las rastras de discos son utilizadas, para hacer la preparación de la tierra antes de la siembra, que consiste en mover la capa superficial del terreno, desmenuzando terrones, dejando la tierra suelta, aireada y mullida lo que se obtiene pasando la rastra las veces que sean necesarias de acuerdo al terreno y al cultivo a sembrar. La bancada de discos delanteros, generalmente está equipada con discos dentados, que hacen un mejor trabajo rompiendo terrones y troceando residuos de la limpieza. La bancada de discos traseros, vienen con discos lisos y paleta limpiadora, desplaza la tierra en sentido contrario de la bancada delantera por lo que entierran los rastrojos, pulveriza los terrones y nivela el terreno (Morales Zapata, 2015; Pereira Morales et al., 2011).

4.7.4. ARADO DE CINCEL

Es una herramienta utilizada para disgregar las capas que son duras o compactas hasta 40 cm de profundidad. Esta es una de las herramientas que genera menos impacto en tanto a la estructura del suelo dejando residuos en la superficie y reduciendo la erosión (Morales Zapata, 2015).

4.8. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

El maíz es una de las plantas que fue originaria de la zona de México hace más de 7000 años, existen varias plantas emparentadas con el maíz (*Zea mays* L.). La taxonomía de la planta de maíz es la siguiente: reino vegetal, división espermatofitas, subdivisión angiosperma, clase monocotiledoneae, subclase glumiflorae, orden poales, familia poaceas, tribu maydeae, genero *zea* y especie *zea mays* L. (Revelo, 2006). La fenología establece las diferentes fases del desarrollo por lo que atraviesa en cultivo, se presentan cambios morfo-fisiológicos que se producen a medida que pasa el tiempo (Oñate Zúñiga, 2016; Ortas, 2008).

Las etapas fenológicas del cultivo muestran las observaciones agro meteorológicas el cual podemos evaluar la interacción del cultivo con el medio ambiente físico para conocer las condiciones climáticas y su requerimiento hídrico adecuado, que nos permite determinar los modelos agroclimáticos, diseño y planificación de riegos, en la programación de siembra y cosecha (Oñate Zúñiga, 2016).

En el cultivo de maíz se han considerado las siguientes fases:

VE se presentan durante los 5 primeros días, en donde el coleóptilo emerge de la superficie del suelo.

V1 se presenta entre los 5 a los 9 días es visible el cuello de la primera hoja

V2 se presenta entre los 9 a los 12 días, en donde se presenta la segunda hoja

V7 se presenta entre los 12 a los 22 días, en donde se presenta el número de hojas definitivas que tiene la planta.

V10 se presenta entre los 22 a los 35 días, en donde se desarrolla el número total de las hojas de la planta.

VT se presenta entre los 35 a los 55 días, en donde es completamente visible la última rama de la panoja.

R1 se presenta entre los 55 a los 59 días, en donde son visibles las espigas.

R6 se presenta entre los días 59 al 112, en donde se genera una madurez fisiológica. Una capa negra es visible en la base del grano teniendo una humedad entre los 35%.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. LOCALIZACIÓN

Florencia es conocido como “La puerta de oro de la Amazonia Colombiana” es la capital del departamento del Caquetá, es el municipio con mayor población del suroriente del país. Está ubicada en el piedemonte entre la cordillera oriental y la Amazonia, la distancia hasta la ciudad de Bogotá es de 519 km. Cuenta con 502.410 habitantes (Caquetá, 2020; PDD, 2020), su extensión territorial es de 2.292 km², su altitud media es de 242 msnm, su precipitación media anual es de 3.840 mm y su temperatura promedio es de 25°C (Corpoamazonia, 2011; PDD, 2020).

El proyecto se desarrolló en la Granja Rancho Bonito, ubicado en la vereda San Juan del Barro, en Florencia – Caquetá, con coordenadas 1°35'29,84” longitud norte, 75°35'37,28” longitud oeste (Figura 1), con una altitud promedio de 248 msnm.

5.2. TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

5.2.1. ÁREA EXPERIMENTAL

Para determinar la caracterización de las propiedades físicas del suelo primero se delimita la superficie total (0,98 hectáreas) en 4 partes iguales de 0,245 hectáreas (Figura 1).

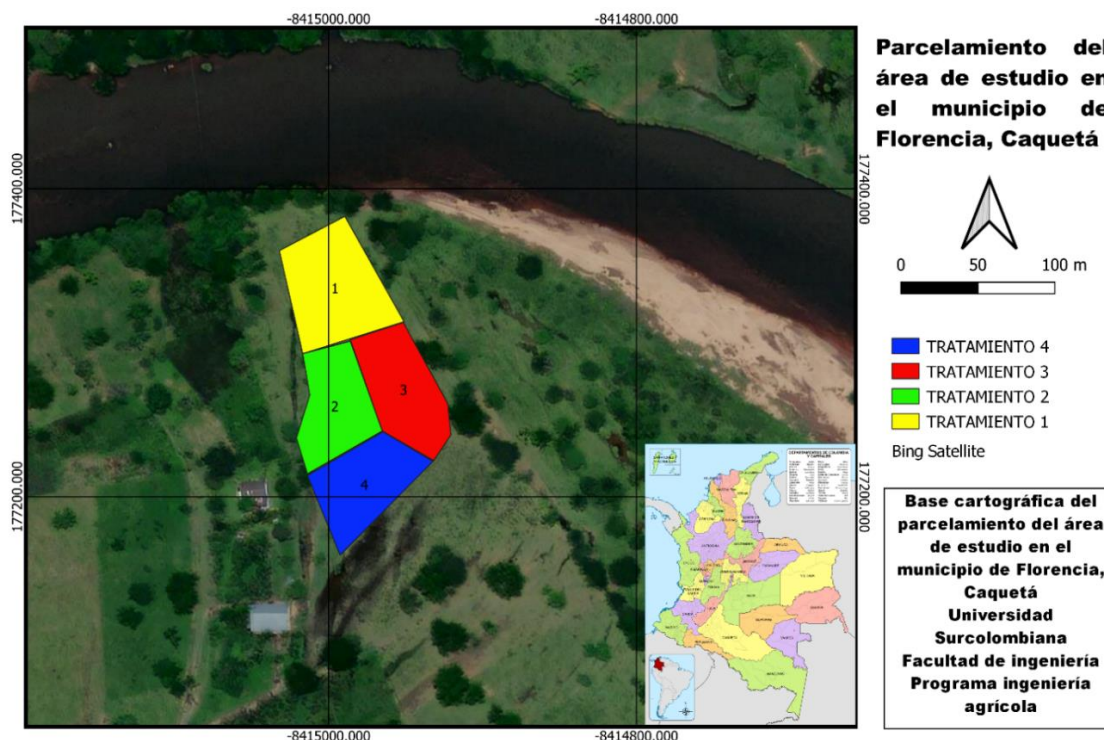


Figura 1: Área de estudio del proyecto de investigación delimitada en 4 partes iguales

Fuente: Autoría propia, QGIS versión 3.16

Luego se recopila los datos de campo de las condiciones climatológicas iniciales para su referencia. posteriormente se procedió a realizar el reconocimiento de la maquinaria e implementos de labranza para su debido mantenimiento, ensayo y posterior montaje.

5.2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Teniendo en cuenta tanto la fertilidad como la pendiente del terreno se seleccionó un diseño factorial en bloques completamente al azar con tres repeticiones. Por último, se procedió a realizar la planeación y diseño de los modelos de labranza (Tabla 1). Los controles agronómicos se realizarán en todos los tratamientos de la siguiente manera: un (1) paso de la guadaña, un (1) control de plagas y enfermedades, dos (2) controles de malezas manual y una (1) recolección de la cosecha (Cadena et al., 2012).

Tabla 1: Tratamientos, número y tipo de pases

Tratamiento	Número y tipo de pase			
Tratamiento 1 (T1)		(2) Pasos de rastra excéntrica	(2) Paso de rastrillo pulidor	(1) Siembra del maíz
Tratamiento 2 (T2)	(1) Paso de arado de cincel	(2) Pasos de rastra excéntrica	(2) Paso de rastrillo pulidor	(1) Siembra del maíz
Tratamiento 3 (T3)	(2) Paso de arado de cincel	(2) Pasos de rastra excéntrica	(2) Paso de rastrillo pulidor	(1) Siembra del maíz
Tratamiento 4 (T4) o testigo				(1) Siembra del maíz

Fuente: Autoría propia

5.2.3. MUESTREO

Las muestras se tomaron antes de intervenir en el lote y una vez se realizan los tratamientos en las zonas anteriormente delimitadas, se recorrió cada zona de tratamiento y en forma de zig-zag cada 30 pasos se adquiere una submuestra teniendo en cuenta que se limpia la superficie y la submuestra se tomó a una profundidad entre 20 cm y 25 cm luego se depositó en un balde (Figura 2), así hasta tener 36 muestras por hectárea y 20 submuestras que se mezclan homogéneamente y se toma 1kg aproximadamente con tres repeticiones para los respectivos análisis y además se tomó una muestra al azar por triplicado para determinar parámetros muy específicos del suelo (Densidad aparente) (Cadena et al., 2012).



Figura 2: Metodología de toma de muestras de suelo

Fuente: Autoría propia

5.3. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Para el proceso de análisis de las muestras se basaron en métodos que se pudiera replicar sin costos excesivos, pero que presentaran una confiabilidad científica (Tabla 2) para cada uno de los parámetros de la investigación realizados en el Laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Surcolombiana sede Garzón.

Tabla 2: Parámetros, métodos y referencias de los análisis a realizar

Parámetro	Método	Referencia
Textura	Método organoléptico	(Andrades et al., 2015)
Color	Comparativo Munsell y piset	(Pellegrini, 2019)
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)
Plasticidad	Método de Moore	(Ginés et al., 1997)
Producción de biomasa	Cálculo de biomasa	(Ramos-Escalante et al., 2018)
Desarrollo fenológico	Calculo fenológico	(Cristhina Flórez, 2018)

Fuente: Autoría propia

5.3.1. TEXTURA

En el análisis de la textura se realizó con el método organoléptico que sirve para realizarlo en campo de una forma rápida. Se usaron varias pruebas para poder llegar a una determinación con expertos. Los ensayos se realizaron en el laboratorio, la primera es la prueba de lanzamiento de la bola, donde se tomó una muestra del suelo humedecido y se oprimió hasta formar una bola (Figura 3), luego se lanza aproximadamente unos 50 cm y si se desmorona es porque contiene alto contenido de arena; por el contrario, si no se desmorona es porque contiene suficiente arcilla. La segunda prueba que se realizó fue la de compresión, en el que se toma una muestra de suelo y se

humedece hasta que comience a hacerse compacta sin que se pegue a la mano, se oprime con fuerza y se abre la mano, si el suelo contiene su forma indica altos contenidos de arcilla, pero por el contrario si no se mantiene presenta altos contenidos de arena (FAO, 2017). La tercera prueba fue la de la bola, el cual sirve para clasificar la textura del suelo si es fina o gruesa. Se tomó una muestra de suelo y se humedeció, luego se amasa hasta obtener una bola de aproximadamente unos 3 cm, y posteriormente se lanza a una pared, dependiendo de su comportamiento después del lanzamiento produce salpicaduras o por el contrario se convierte en un proyectil muy duro, el cual se puede inferir si es gruesa, moderadamente gruesa, mediana, moderadamente fina o si es fina (FAO, 2017).

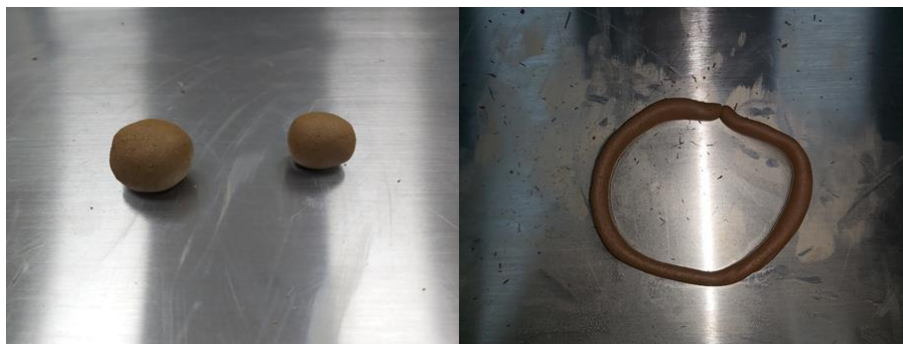


Figura 3: Ensayo para determinar la textura del suelo

Fuente: Autoría propia

5.3.2. COLOR

En la determinación del color del suelo se realizó mediante un proceso comparativo teniendo en cuenta la carta de Munsell, el cual se tomó una muestra de suelo, luego se comparó con los colores presentantes en la carta teniendo en cuenta que contenga la matriz semejante a la muestra (Figura 4). El valor correspondiente al color que se seleccionó, se leyó en la margen izquierda de la página y el croma en la margen inferior. Finalmente, en la página siguiente es determinado el nombre del color (Madriñan Molina, 2016).

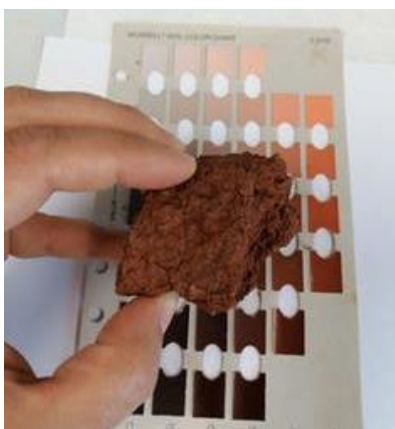


Figura 4: Montaje para la medición de la humedad

Fuente: (Perez de los Reyes, 2021)

5.3.3. PH

En la determinación del pH, se tomó de las muestras de cada tratamiento (Tabla 1), se tomaron 20 ml, se homogenizó y después de un reposo de 30 minutos (Figura 5). Posteriormente la lectura se realizó con el potenciómetro Thermo Scientific Orion Star A111 previamente calibrado de acuerdo con el protocolo y análisis descrito por la AOAC (AOAC-981.12).



Figura 5: Equipo para la medición de pH

Fuente: Autoría propia

5.3.4. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica se midió con el instrumento previamente calibrado Thermo Scientific Medidor de conductividad portátil Orion Star A122, en cada una de las muestras de los tratamientos realizando por triplicado (Figura 6), de acuerdo con el protocolo y análisis descrito por la UNE 77308:2001 (Triviño-Pineda et al., 2017).



Figura 6: Equipo para la medición de la conductividad

Fuente: Autoría propia

5.3.5. HUMEDAD

Para la determinación de la humedad del suelo se realizó en base al método Gravimétrico (Figura 7). Donde se usó una caja de Petri con peso conocido se tomó una muestra de suelo y se volvió a pesar, luego se lleva a la estufa con una temperatura de 105°C durante 24 horas, se deja enfriar y posteriormente se pesó (Gomez Giraldo, 2013; Madriñan Molina, 2016; Radulovich, 2009).

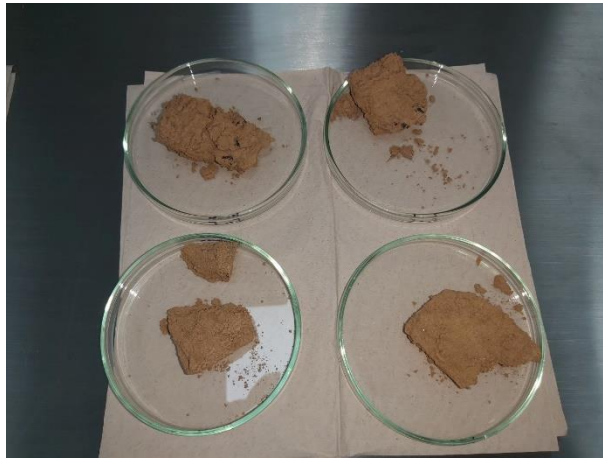


Figura 7: Montaje para la medición de la humedad

Fuente: Autoría propia

Para finalizar se utiliza la siguiente fórmula, que permite calcular el porcentaje de humedad (Ecuación 1) (Madriñan Molina, 2016; Radulovich, 2009).

Ecuación 1:

$$Hg\% = \frac{Mmh - Mms}{Mms} * 100$$

Donde:

Hg%= Humedad gravimétrica

Mmh= Masa de muestra húmeda

Mms= Masa de muestra seca a 105°C

5.3.6. PLASTICIDAD

Se tomó una pequeña masa de suelo, se le adicionó agua posteriormente con las palmas de las manos se hace una tira larga y redonda parecida a un cordón de 3mm de espesor (Figura 8), el cual se califica en no plástico cuando no se puede formar el cordón, ligeramente plástico es en caso de poder formarlo pero se rompe fácilmente, plástico es en caso de poder formar un cordón pero en caso de romperse no se puede volver a formar y muy plástico cuando se puede formar el cordón y no se rompe con facilidad, si se llegara a romper se puede volver a formar (FAO, 2015).



Figura 8: Ensayo para determinar la plasticidad del suelo mojado
Fuente: Autoría propia

5.3.7. DENSIDAD APARENTE

Para la determinación de la densidad aparente se implementó el método del terrón parafinado, en donde se tomó una muestra del suelo y se pesó, seguidamente se secó a 105°C, luego se pesa, posteriormente se sumerge el terrón en parafina, se deja secar y se pesa nuevamente.



Figura 9: Montaje del método del terrón parafinado
Fuente: Autoría propia

Posteriormente se sumerge el terrón en una probeta con agua y se mide el volumen desplazado, la metodología se realizó por triplicado (Figura 9). Finalmente se aplica la fórmula para el cálculo de la densidad aparente (Ecuación 2) (Gomez Giraldo, 2013).

Ecuación 2:

$$Da = \frac{PSS\ 105^{\circ}C}{Vd - \left(\frac{PSSP - PSS}{0,9} \right)}$$

Donde:

Da= densidad aparente

PSS 105°C= peso del terrón de suelo seco

Vd= volumen desplazado

PSSP= peso del terrón de suelo parafinado

Pss= peso del terrón de suelo sin parafinar

0,9= densidad de la parafina

5.3.8. DENSIDAD REAL

Para determinar la densidad real se implementó el método del picnómetro donde se pesó los picnómetros secos con tapa, se colocaron 10 gramos de suelo (Figura 10), luego se pesó y adicionó agua destilada y por último se pesa con su respectiva tapa.



Figura 10: Montaje para la medición de la densidad real

Fuente: Autoría propia

Finalmente teniendo en cuenta los diferentes pesos se procede a realizar el respectivo cálculo (Ecuación 3) (Gomez Giraldo, 2013).

Ecuación 3:

$$Dr = \frac{dw(Ws - Wa)}{(Ws - Wa) - (Wsw - Ww)}$$

Donde:

Dr= densidad real

Dw= densidad del agua a la temperatura observada

Ws= peso del picnómetro más el suelo
Wa= peso del picnómetro vacío
Wsw= peso del picnómetro más suelo más agua
Ww= peso del picnómetro más agua

5.3.9. POROSIDAD

Para el método de la porosidad, se utilizó la densidad real y aparente anteriormente obtenida (Ecuación 4) (Gomez Giraldo, 2013).

Ecuación 4:
$$Po = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100$$

Donde:

Po= porosidad
Da= densidad aparente
Dr= densidad real

5.3.10. INFILTRACIÓN

En el siguiente análisis se utilizó el método del infiltrómetro Porchet, en donde se escogió varios lugares para el estudio en cada tratamiento, se colocó un cilindro cubierto con una bolsa plástica lleno de agua con un flexómetro y determinamos la cantidad de agua infiltrada a 1 hasta los 97 minutos (Figura 11) (Gomez Giraldo, 2013; Madriñan Molina, 2016).



Figura 11: Montaje para la medición de la infiltración

Fuente: Autoría propia

5.3.11. CRECIMIENTO FENOLÓGICO

Para el siguiente parámetro se tuvo en cuenta el crecimiento diario de las plantas (muestra representativa al azar 15 % del total de las plantas por tratamiento), el cual se llevó un flexómetro para determinar la altura en cada día (Figura 12), y así poder obtener la curva de crecimiento en cada una de las etapas fenológicas (Germinación, desarrollo vegetativo, floración, maduración y cosecha) además de obtener el mejor crecimiento y desarrollo de las plantas en los diferentes tratamientos (Triviño Pineda & Contreras Garcia, 2016).



Figura 12: Método de medición en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de maíz forrajero *Zea mays L*, variedad ATL 200 con una edad de 35 días.

Fuente: Autoría propia

5.3.12. PRODUCCIÓN DE SILO

Al finalizar el proceso de desarrollo fenológico se procedió a la recolección del silo con maquinaria, posteriormente el empacado en bolsas con un contenido de 40 kg por unidad (Figura 13), y así determinar la producción en ton/ha de forraje por cada uno de los tratamientos.



Figura 13: Método de pesaje del maíz

Fuente: Autoría propia

5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A los resultados obtenidos se les realizó un análisis descriptivo mediante el software EXCEL versión 2016, para los parámetros físicos de los diferentes modelos de labranza. El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics centurión XVI versión estudiantil. Se implementó un análisis de varianza simple (ANOVA) para los datos de caracterización de cada uno de los métodos de labranza además de un análisis de varianza multifactorial (ANOVA multifactorial) para los datos obtenidos entre los modelos de labranza, para cada uno de ellos se aplicaron varios tests de correlación y gráficos de box-plot para comparar los valores medios obtenidos para los parámetros físicos del suelo. Las diferencias entre medias o medianas serán consideradas significativas cuando el $p\text{-valor} < 0,05$.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. TEXTURA

Para el parámetro de textura se obtuvo como resultado después de realizar análisis de pruebas el tratamiento 1 presentó características franco arcilloso, para el tratamiento 2 predominaba rasgos a arcillo limoso, en el tratamiento 3 con particularidades de franco arcilloso y para finalizar en el tratamiento 4 o testigo predominaba cualidades de arcillo limoso, resultados semejantes a los expuestos por otros autores (FAO, 2017).

6.2. COLOR

El color es otro de los parámetros que nos permite determinar ciertas características que prevalecen en el suelo, esta clasificación está basada en la tabla Munsell que nos brinda la forma de interpretar de manera práctica los distintos grupos de suelos existentes, los resultados fueron tabulados y por medio de un análisis de correspondencia (Tabla 3) se pudo determinar los colores en cada uno de los tratamientos.

Tabla 3: Tabla de frecuencias para el color por tratamiento

Color	T1	T2	T3	T4	Total por Fila
10YR-4/2	1 8,33%	1 8,33%	0 0,00%	0 0,00%	2 16,67%
10YR-4/3	0 0,00%	2 16,67%	0 0,00%	0 0,00%	2 16,67%
10YR-4/4	0 0,00%	0 0,00%	1 8,33%	0 0,00%	1 8,33%
10YR-5/3	0 0,00%	0 0,00%	0 0,00%	2 16,67%	2 16,67%
25YR-4/3	2 16,67%	0 0,00%	2 16,67%	1 8,33%	5 41,67%
Total por Columna	3 25,00%	3 25,00%	3 25,00%	3 25,00%	12 100,00%

Fuente: Autoría propia

Para el caso del tratamiento 1 presenta un color marrón oliva oscuro 25YR-4/3 arcilla, estructura moderada subangular duro, firme, plástico y pegajoso, límite de horizonte gradual, en el tratamiento 2 muestra un color marrón amarillento opaco 10YR-4/3 con características franco arcilloso, bloques subangulares pequeños, ligeramente duro, friable, ligeramente pegajoso, Límite de horizonte claro, en el tratamiento 3 tiene características a un color marrón oliva oscuro 25YR-4/3 textura arcilla, estructura moderada subangular duro, firme, plástico y pegajoso, límite de horizonte gradual y en el tratamiento 4 o testigo teniendo como característica el color marrón amarillento opaco 10YR-5/3 textura areno francosa fina a areno francosa muy fina; estructura de bloques subangulares finos muy débiles que rompen a grano simple; suelto en seco, muy friable en húmedo, no plástico y no adhesivo en mojado; actividad biológica regular; raíces finas y muy finas abundantes; poros finos y muy finos abundantes datos que concuerdan con información reportada por otros autores (OEA et al., 1992).

6.3. PH

En los 4 tratamientos teniendo en cuenta el número de pases y el tipo de laboreo (Tabla 1), se obtuvieron como resultados para el caso del tratamiento 1, fue de un pH entre 4,97 a 5,27 siendo muy fuertemente ácido y pocas raíces finas con características de color 25 YR 4/3; en el tratamiento 2 presenta un pH entre 5,14 a 5,22 siendo fuertemente ácido debido al bajo contenido de materia orgánica (1,6%) y abundantes raíces de tamaño fino con un color 10 YR 4/3; en el tratamiento 3 con un valor de pH entre 4,97 a 5,27 siendo muy fuertemente ácido y pocas raíces finas con color de 25 YR 4/3 y por último en el tratamiento 4 o testigo, con un pH entre 5,0 a 5,09 estando en el rango de muy fuertemente ácida debido a pocas raíces finas y el contenido de materia orgánica de 0,7 % característico del color 10 YR 5/3 como se puede evidenciar (Tabla 4) (OEA et al., 1992).

Tabla 4: Tabla de datos del pH del suelo por tratamientos

TRATAMIENTOS	pH
T1	5,19±0,05a
T2	5,16±0,06a
T3	5,04±0,04ab
T4	4,93±0,07b

Fuente: Autoría propia

De esta manera cabe resaltar que en el análisis estadístico los datos obtenidos muestran que en el pH presentan diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre de ($p < 0,05$); los resultados muestran que los tratamientos antes de la intervención de la maquinaria tenían un pH por debajo de 4,9 y después se generó un aumento significativo a valores superiores de 5,3. Para el tratamiento 1 y el tratamiento 3 no presentan diferencias significativas, de manera semejante el tratamiento 2 (Figura 14), tratamiento 3 y el tratamiento 4 o testigo no presentan diferencias significativas por ende, la Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva (CICE) se basa en la sumatoria de Ca^+ Mg^+ K^+ Al^+ H en el suelo y que valores menores a 6,2 de pH la saturación de acidez pueden afectar negativamente el crecimiento de especies vegetales poco tolerantes a la presencia de Al, mientras que el valor de 6,2 a 7 se considera como el rango más adecuado del

suelo para generar mayor crecimiento del cultivo debido a estos comportamientos es similar a lo reportado por otros autores (Bonilla, 2019; OEA et al., 1992; USDA, 1998).

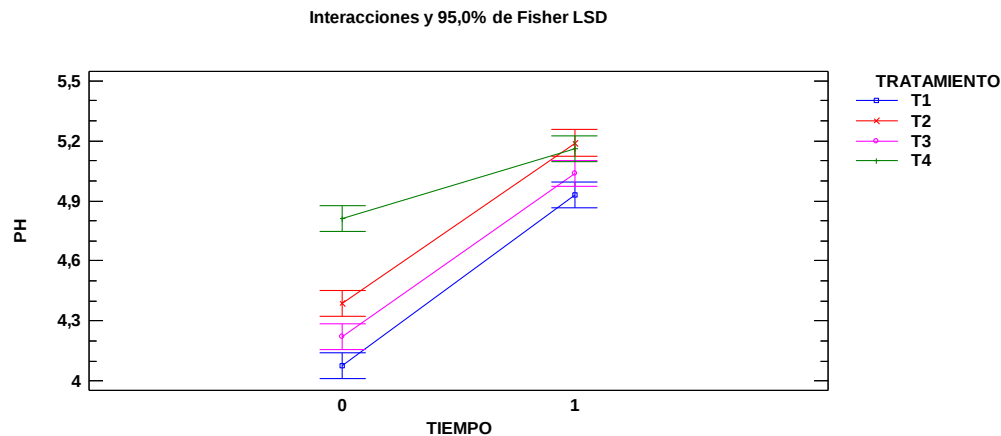


Figura 14: pH del suelo antes y después de la intervención de la maquinaria en los diferentes tratamientos

Fuente: Autoría propia

6.4. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica se midió en microSiemens/cm (uS/cm) lo que permite medir la capacidad de transmisión de la corriente eléctrica en el agua, el cual está relacionada con la concentración de sales disueltas. En el caso de este parámetro los 4 tratamientos están por debajo del rango de 2000 uS/cm (Tabla 5) teniendo como característica suelos no salinos (Gallart-Martínez, 2017).

Tabla 5: Tabla de datos de la conductividad del suelo por tratamientos

TRATAMIENTOS	CONDUCTIVIDAD (uS/cm)
T2	81,67±10,45a
T1	51,92±10,45ab
T3	21,41±10,45bc
T4	3,98±10,45c

Fuente: Autoría propia

Por consiguiente en el análisis estadístico los datos obtenidos muestran que la conductividad presentan diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de confianza del 95%; es decir que el tratamiento 1, el tratamiento 2 y el tratamiento 4 o testigo presentan diferencias significativas y para el caso del tratamiento 3, no presenta diferencia significativa respecto al tratamiento 1 y el tratamiento 4 (Figura 15), debido a este resultado de suelos no salinos permite un mejor crecimiento de la planta de lo contrario provocaría una sintomatología de inhibición

irreversible en el desarrollo de la planta (necrosis, retraso en la nascencia, baja área foliar y del tallo además de afectar la producción en materia seca) lo que se presentan similitudes a lo reportado por otros autores (Bonilla, 2019; Gallart-Martínez, 2017; Herber, 2011).

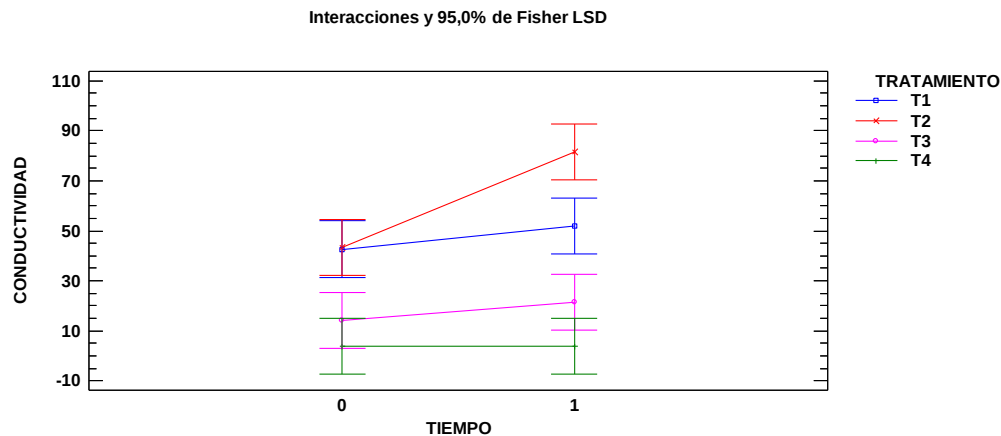


Figura 15: Conductividad eléctrica del suelo (uS/cm) antes y después del uso de maquinaria en los diferentes tratamientos

Fuente: Autoría propia

6.5. HUMEDAD

Respecto a la humedad del suelo se pudo observar que la cantidad de agua que el suelo puede almacenar, también se puede determinar la capacidad del suelo para regular el ciclo hidrológico y determinar los tiempos de riego (Tabla 6) (Globe, 2005).

Tabla 6: Tabla de datos de la humedad del suelo por tratamientos

TRATAMIENTO	HUMEDAD (%)
T4	27,99 ± 1,55a
T3	27,73±1,55a
T2	26,45±1,55a
T1	14,63±1,55b

Fuente: Autoría propia

De esta manera cabe resaltar que en el análisis estadístico los datos obtenidos muestran en la humedad del suelo se presentan diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre de ($p < 0.05$); los resultados muestran que el tratamiento 1 presentan diferencias significativas respecto al tratamiento 2, tratamiento 3 y el tratamiento 4 o testigo (Figura 16), por tal razón el tratamiento presenta un bajo almacenamiento de agua en comparación al 2,3 y 4 tratamiento, esto permite determinar el nivel de contenido de agua en el suelo, si está a capacidad de campo o a punto de marchitez permanente o determinar el tiempo de riego para el cultivo además, de ayudar en la conducción eléctrica y facilitar la adsorción de nutrientes del suelo que

requiera la planta, datos semejantes reportados por otros autores (Caicedo-Rosero et al., 2021; Maroneze et al., 2014).

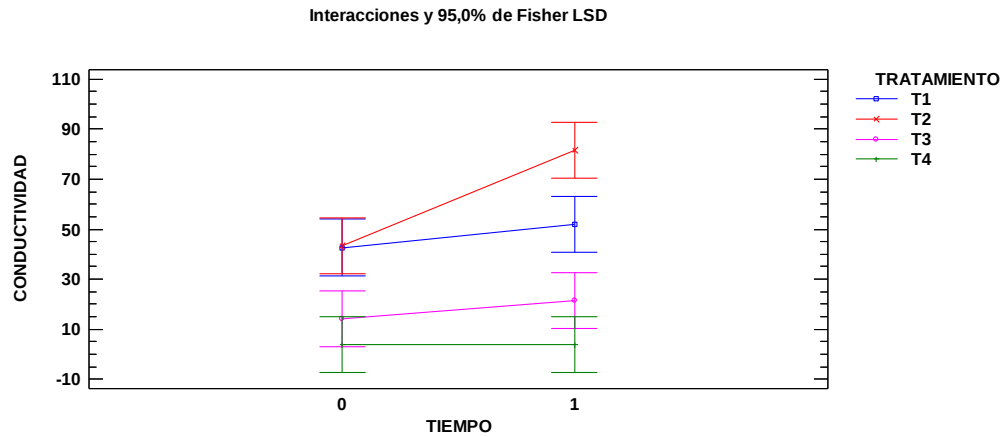


Figura 16: Humedad del suelo (%) antes y después del uso de maquinaria en los diferentes tratamientos

Fuente: Autoría propia

6.6. PLASTICIDAD

Para el caso del parámetro de la plasticidad de uso con la metodología en campo el cual después de humedecer, se puede formar un cordón de aproximadamente 3 cm de diámetro y más de 25 cm de largo el cual no se rompió y en caso de romperse podíamos volver a formarlo en los tres tratamientos, lo que indica que el suelo es plástico presenta un número considerado de arcilla lo cual se atribuye a la deformación de la capa del agua absorbida alrededor de los minerales, caso contrario en el tratamiento 4 o tratamiento testigo, el cual no varió su plasticidad ya que no se implementó el uso de maquinaria, información reportada por otros autores (Duque & Escobar, 2013; FAO, 2015).

6.7. DENSIDAD APARENTE

De manera general los resultados obtenidos en la densidad aparente están dentro del rango permitido en la literatura (1,0 a 1,7 g/cm³) (Tabla 7) (Escobar Perea et al., 2021).

Tabla 7: Tabla de datos de densidad aparente del suelo por tratamientos

TRATAMIENTO	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)
T4	1,56±0,07a
T1	1,54±0,07a
T3	1,46±0,07a
T2	1,34±0,07ab

Fuente: Autoría propia

De esta manera cabe resaltar que en el análisis estadístico los datos obtenidos muestran en la densidad aparente no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel del 95% de confianza (Figura 17), estos resultados son característicos de suelos derivados de granito lo que presenta una baja retención de la humedad lo que se ve afectado en la producción, estos datos se asemejan a los obtenidos por otros autores (Ciencia En & Pc, 2017; Escobar Perea et al., 2021).

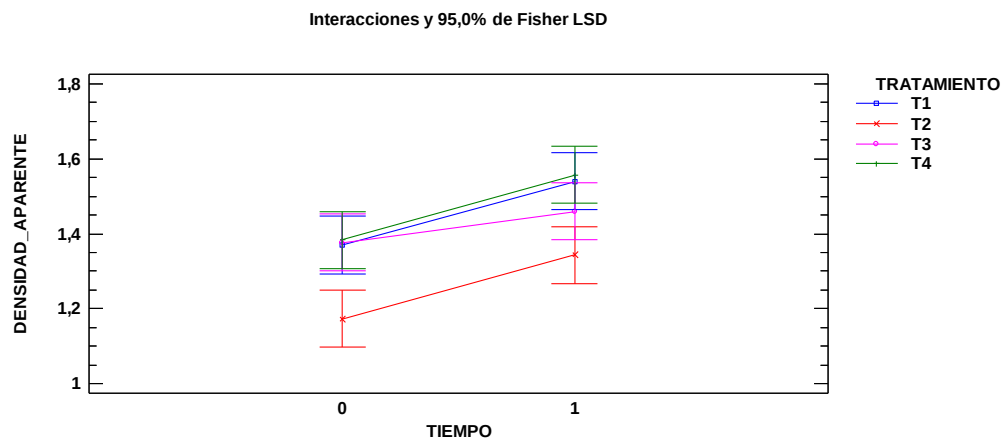


Figura 17: Densidad aparente del suelo (g/cm³) antes y después del uso de la maquinaria en los diferentes tratamientos

Fuente: Autoría propia

6.8. DENSIDAD REAL

Por otra parte, en el caso de la densidad real el tratamiento 2 está por encima del valor aceptado y por el contrario el tratamiento 1, el tratamiento 3 y el tratamiento 4 o testigo están por debajo de los valores aceptados en la literatura (2,65 g/cm³) (Tabla 8), puede estar relacionado al bajo contenido de materia orgánica (Escobar Perea et al., 2021).

Tabla 8: Tabla de datos de densidad aparente del suelo por tratamientos

TRATAMIENTO	DENSIDAD REAL (g/cm ³)
T3	3,45±0,31a
T2	2,81±0,31ab
T4	2,38±0,31b
T1	2,17±0,31b

Fuente: Autoría propia

De esta manera cabe resaltar que en el análisis estadístico los datos obtenidos muestran en la densidad real no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre de ($p < 0.05$); los resultados muestran que el tratamiento 3 presenta diferencia

significativa respecto al tratamiento 1 y el tratamiento 4 o testigo (Figura 18), por lo que el tratamiento 3 que fue el que se implementó el mayor número de arado genero una densidad alta tomando características hematinas, seguido del tratamiento 2 con una densidad media tomando características como el cuarzo y el tratamiento 4 y 1 con una densidad muy baja tomando características al humus, en efecto la información obtenida presenta una similitud a los de otros autores (Castillo, 2005; Ciencia En & Pc, 2017; Escobar Perea et al., 2021).

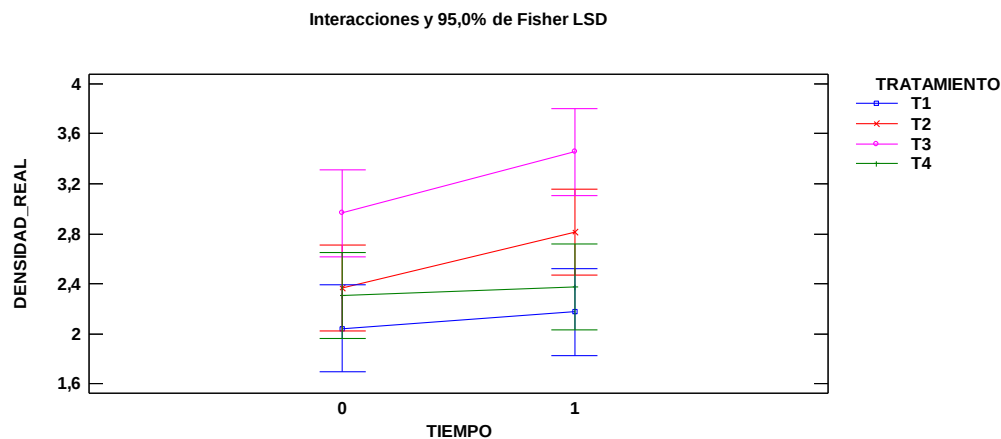


Figura 18: Densidad real del suelo (g/cm³) antes y después del uso de maquinaria en los diferentes tratamientos

Fuente: Autoría propia

6.9. POROSIDAD

Respecto al parámetro de la porosidad presentan una relación directamente proporcional con la densidad real una relación inversamente proporcional con la densidad aparente, los datos están alrededor de los 10,11 % y los 66,28 % (Tabla 9), de esta manera cabe resaltar que en el análisis estadístico los datos obtenidos muestran en la porosidad no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre de ($p < 0.05$).

Tabla 9: Tabla de datos de porosidad del suelo por tratamientos

TRATAMIENTO	POROSIDAD (%)
T3	57,73±7,75a
T2	49,07±7,75ab
T4	33,27±7,75ab
T1	26,74±b

Fuente: Autoría propia

los resultados muestran que el tratamiento 1 y el tratamiento 3 presentan diferencias significativas y los tratamientos 2 y 4 no presentaron diferencias significativas (Figura 19), por ende el

tratamiento 3 presento una porosidad alta, el tratamiento 2 con una característica de porosidad media y finalmente los tratamientos 4 y 1 con una porosidad muy baja y esto es debido al número de pases y el tipo de arado que se realizó en los diferentes lotes, teniendo similitud a resultados de otros autores (Ciencia En & Pc, 2017; Escobar Perea et al., 2021).

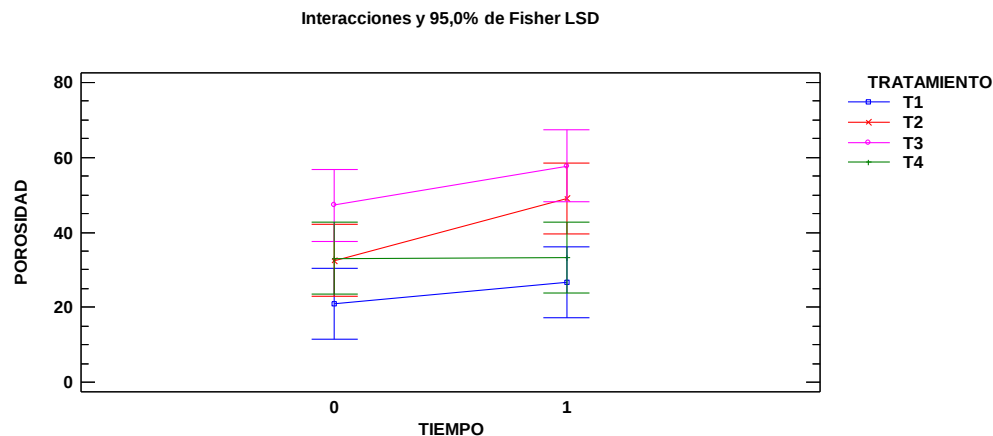


Figura 19: Porosidad del suelo (%) antes y después del uso de maquinaria en los diferentes tratamientos

Fuente: Autoría propia

6.10. INFILTRACIÓN

Los datos obtenidos en la infiltración muestran una relación directamente proporcional con respecto al parámetro de porosidad, densidad real y productividad, en cambio con el parámetro de densidad aparente presenta una relación inversamente proporcional (Tabla 10), además en el tratamiento 1 encontramos velocidades de 0,01 hasta 2 cm/min, en el tratamiento 2 de 0,67 hasta 8 cm/min, en el tratamiento 3 desde 0,40 hasta los 7 cm/min y para el tratamiento 4 o testigo valores de 0 hasta 0,5 cm/min (Figura 20).

Tabla 10: Tabla de datos de infiltración del suelo por tratamientos

TRATAMIENTO	INFILTRACIÓN (cm/min)
T2	139±0,91a
T3	121±0,91b
T1	19±0,91c
T4	4±0,91d

Fuente: Autoría propia

De esta manera cabe resaltar que en el análisis estadístico los datos obtenidos muestran en la infiltración del suelo se presentan diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, los resultados muestran que el tratamiento 1 presentan diferencias significativas

en el tratamiento 2, tratamiento 3 y el tratamiento 4 o testigo, es decir el tratamiento 2 y 3 presenta mejor infiltración en el suelo tomando características de suelo con textura arenosa y los tratamientos 1 y 4 toman características de suelos arcillosos semejantes a lo reportado por otros autores (Cadengo Lopez, 2021).

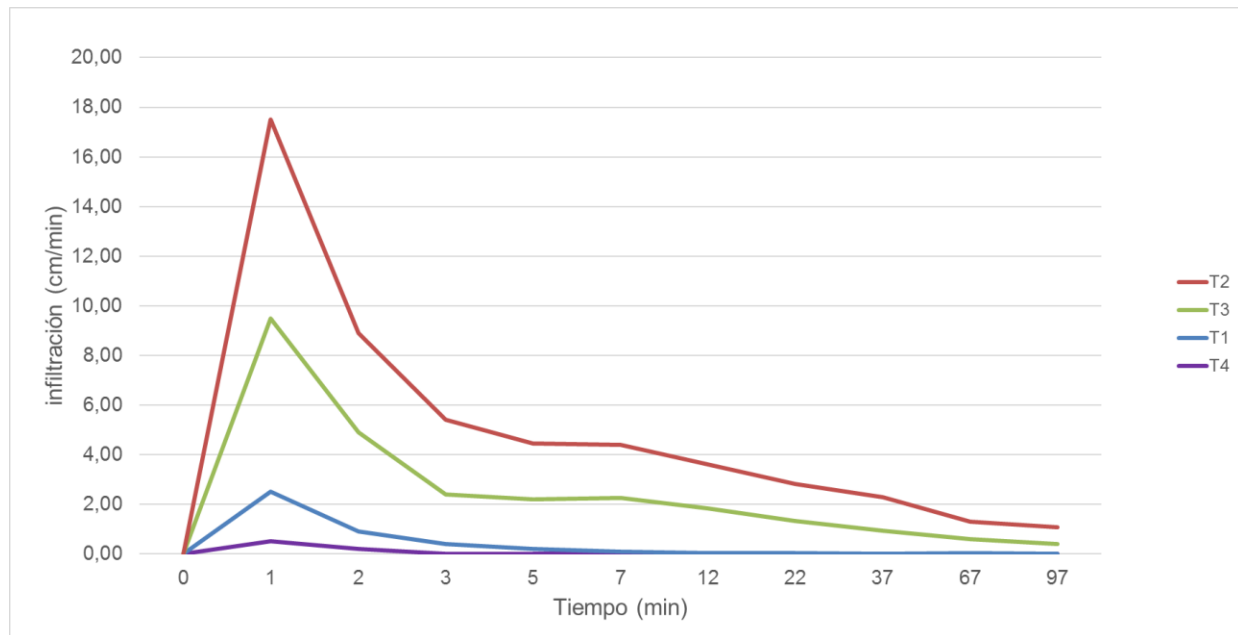


Figura 20: Curva de Infiltración del suelo (cm/min) en los diferentes tratamientos

Fuente: Autoría propia

6.11. CRECIMIENTO FENOLÓGICO

Los resultados obtenidos me después de la toma de la información, no muestra la curva de crecimiento de las plantas de maíz en las diferentes condiciones como son sus tratamientos (Figura 21), se puede evidenciar que el crecimiento es notable el cual presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) en los diferentes tratamientos.

Tabla 11: Tabla de datos del crecimiento fenológico del maíz forrajero por tratamientos

TRATAMIENTOS	CRECIMIENTO FENOLÓGICO MEDIO (cm)
1	92,3462a
2	103,846b
3	97,3846c
4	61,7692d

Fuente: Autoría propia

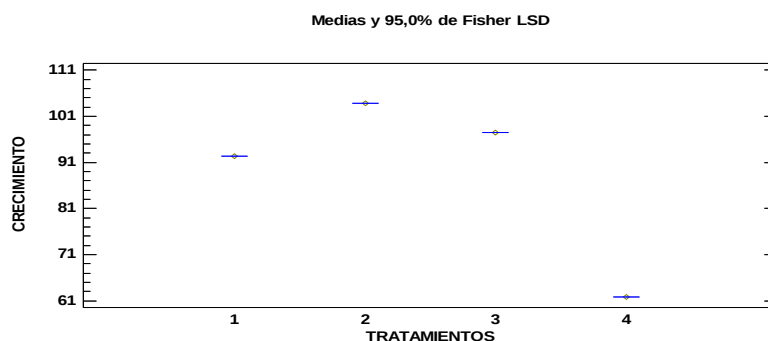


Figura 21: Crecimiento de maíz (cm) *Zea mays* variedad ATL 200 en los diferentes tratamientos
Fuente: Autoría propia

El tratamiento 4 o testigo donde no se aplicó ningún tipo de labranza de las plantas de presentaron un crecimiento inferior a los demás tratamientos, pero por el contrario en el tratamiento 2 el crecimiento de las plantas de maíz fue superior a los demás tratamientos (Figura 22), datos por encima a los reportados por otros autores (Rodríguez et al., 2020) pero con una tendencia similar a lo reportado (Triviño Pineda & Contreras Garcia, 2016).

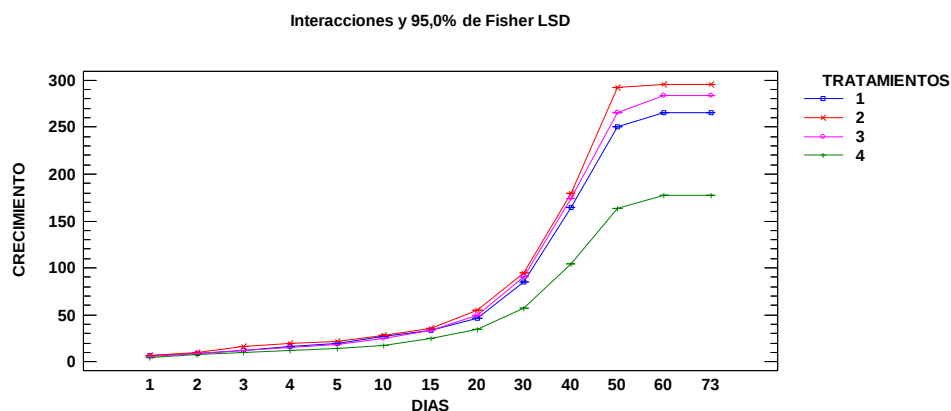


Figura 22: Curva de crecimiento del cultivo (cm) desde el proceso de germinación hasta la cosecha, en los diferentes tratamientos
Fuente: Autoría propia

6.12. PRODUCCIÓN

Los resultados en cuanto a la producción obtenida en cada uno de los tratamientos después de un crecimiento fenológico normal, cabe resaltar que en el análisis estadístico los datos obtenidos muestran en la producción de maíz se presentan diferencias significativas entre los tratamientos con una incertidumbre de ($p < 0.05$).

Tabla 12: Tabla de datos de la producción de maíz forrajero por tratamientos

TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN (Ton/has)
T1	33,59±0,79a
T2	37,39±0,65b
T3	35,73±0,87c
T4	22,50±1,13d

Fuente: Autoría propia

los resultados muestran que el tratamiento 1 presentan diferencias significativas en el tratamiento 2, tratamiento 3 y el tratamiento 4 o testigo (Figura 23), frente a estos resultados se puede concluir que el efecto de la implementación de métodos de labranza puede mejorar la producción en el cultivo, pero también si se usa de manera excesiva puede tener complicación en una baja producción de maíz forrajero, esta información (Triviño Pineda, 2015).

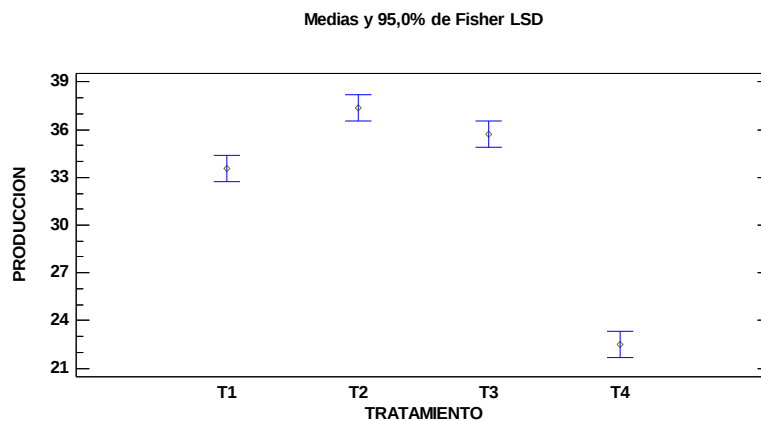


Figura 23: Producción de maíz (Ton/has) en los diferentes tratamientos

Fuente: Autoría propia

7. CONCLUSIONES

El objetivo principal se cumplió al poder demostrar que es posible aumentar la producción teniendo como base el implemento de la mecanización agrícola con sus métodos de labranza, pero que también el exceso de uso en sus métodos de labranza puede perjudicar el buen crecimiento de los cultivos además alterando las propiedades del suelo y por ende disminuir en la producción de la misma.

Según los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros, mostro que el mejor tratamiento fue el tratamiento 2 donde se aplicó un (1) Paso de arado de cincel, dos (2) Pasos de rastra excéntrica, dos (2) Paso de rastrillo pulidor y una (1) Siembra del maíz además del control de plagas y arvenses

La conductividad puede tomarse como referente para los análisis de suelos ya que presento una relación directamente proporcional con la infiltración y la producción ya que a mayor conductividad mayor infiltración y por ende mayor producción de maíz forrajero datos característicos del tratamiento 2.

La humedad del suelo presentar una relación directamente proporcional respecto a la densidad real y la porosidad, ya que en el caso del tratamiento 3 se obtuvieron los valores mayores y demostró que afecto significativamente la producción de maíz forrajero, además de una relación inversamente proporcional con la densidad aparente lo cual puede ayudarnos a predecir los comportamientos de las mismas.

El tratamiento 2 donde se implementó un paso de arado de cincel, dos pasos de rastra excéntrica, 2 pasos de rastrillo pulidor, la siembra y las labores agronómicas igual que los otros tratamientos mosto una mayor producción en más del 12 %, además de un mayor crecimiento del cultivo por encima del 12%.

8. RECOMENDACIONES

En el área de estudio se puede sugerir la implementación del tratamiento 2, donde se usaron (1) Paso de arado de cincel, (2) Pasos de rastra excéntrica, (2) Paso de rastrillo pulidor y (1) Siembra del maíz por su impacto en menor proporción en la conservación del suelo, mayor productividad, rentabilidad por hectárea en relación a los otros sistemas de labranza.

Este proyecto como fase de estudio inicial es tan ambicioso que puede tener proyecciones en la región para los agricultores de maíz forrajero. Siempre es importante considerar mejoras continuas, por lo tanto, se recomienda a futuros estudiantes de ingeniería agrícola o carreras afines que tengan en cuenta las recomendaciones.

Los tratamientos fueron pocos en comparación con la matriz establecida para poder determinar el efecto de cada tipo de labranza a implementar, por lo tanto, es necesario realizar más investigaciones en suelos con diferentes texturas y variaciones en aperos.

9. REFERENCIAS

- Ahmadi, H., & Mollazade, K. (2009). Effect of Depth of Plowing and Soil Moisture Content on Reduced Secondary Tillage. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 0(0), 1–9.
- Alvarado, A. (2004). *Maquinaria y mecanización Agrícola*. (1st ed.).
- 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>
- Balota, E. L., Calegari, A., Nakatani, A. S., & Coyne, M. S. (2014). Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 197, 31–40.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.010>
- Bertol, I., Albuquerque, J. A., Leite, D., Amaral, A. J., & Zoldan Junior, W. A. (2004). Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 28(1), 155–163. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832004000100015>
- Blanco-Canqui, H., & Jasa, P. J. (2019). Do Grass and Legume Cover Crops Improve Soil Properties in the Long Term? *Soil Science Society of America Journal*, 83(4), 1181–1187.
<https://doi.org/10.2136/sssaj2019.02.0055>
- Bonilla, N. C. (2019). *Diferencias fisicoquímicas de suelo suplementado con pilas eléctricas 1 Physical and chemical differences of the supplemented soil with electric batteries*. 13(26), 68–73.
- Brady, N., & Weil, R. (2013). *Elementos da natureza e propriedades dos solos* (Bookman Ed).
- Buckman, H., & Brady, N. (2003). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. (5ª).
http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_to3.htm
- 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.
- Cadengo Lopez, L. E. (2021). Infiltración del suelo en los diferentes tratamientos. *Universidad Autonoma de Aguascalientes*.
- Caicedo-Rosero, L. C., Méndez-Ávila, F. J., Gutiérrez-Zeferino, E. ., & Flores-Cuautle, J. J. . (2021). *Medición de humedad en suelos : Revisión de métodos y características Soil Moisture Measurement : Review of Methods and Characteristics*. 18.

- Capowiez, Y., Sammartino, S., Keller, T., & Bottinelli, N. (2021). Decreased burrowing activity of endogeic earthworms and effects on water infiltration in response to an increase in soil bulk density. *Pedobiologia*, 85–86(October 2020).
<https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150728>
- Caquetá, A. (2020). Caquetá. Retos y desafíos para el Desarrollo Sostenible. *Objetivos De Desarrollo Sostenible*, 1, 16.
https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/Gobernabilidad/Publicacionesproyectos/UNDP_Co_GOB_Publicaciones_FICHA_CAQUETÁ-RETOS Y DESAFÍOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE.pdf
- 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>
- 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.
- Connor, R. (2015). *The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world* (UNESCO).
- Corpoamazonia. (2011). *Caracterización ambiental plan departamental de agua departamento de Caquetá*.
- Cristhina Flórez, G. (2018). Métodos de Estudio: Fenología de Plantas. *Asociación Primatológica Colombiana*.
- Crovetto, C. (2002). *Rastrojo sobre el suelo una introducción a la cero labranza* (E. U. S. Francisco. (ed.)).
- de Souza, T. C., Magalhães, P. C., de Castro, E. M., Duarte, V. P., & Lavinsky, A. O. (2016). Corn root morphoanatomy at different development stages and yield under water stress. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 51(4), 330–339. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000400005>
- Dencker, C. (1966). *Manual de Técnica Agrícola* (Ediciones).
- Donaire, J. (2014). *Mecanización agrícola mecanización agrícola aia 233*. Universidad nacional autónoma de honduras centro universitario regional del litoral atlántico departamento de ingeniería agrícola.
- Duque, G., & Escobar, C. (2013). Consistencia y plasticidad. 2013, 171.
<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45760335/Suelos.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1538328404&Signature=5I8BIbip6fL%2B1%2FeVSEuQOmMjd0c%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DSuelos.pdf>
- Durán, J. R. (2020). *OPERACIONES BASICAS DE LABRANZA USADAS EN LA FACULTAD DE AGRONOMIA*. <https://es.scribd.com/document/400951707/Operaciones-basicas-en-la-labranza-maquinaria-y-herramienta-docx>

- 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>
- FAO. (2015). Consistencia del Suelo. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación*, 6–11. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm
- FAO. (2017). Textura del suelo. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación*, C, 1–20. http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- FAO. (2019). *Propiedades Físicas del Suelo*. Portal de Suelos de La FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Gallart-Martínez, F. (2017). La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia. *UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA*, 34. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94368/GALLART - La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelo....pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94368/GALLART%20-%20La%20conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20suelo%20como%20indicador%20de%20la%20capacidad%20de%20uso%20de%20los%20suelos....pdf?sequence=1)
- Ginés, F., Feliu, C., García-Ten, J., & Sanz, V. (1997). Cerámica y Vidrio Análisis de los métodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.*, 36(1), 25–30.
- Globe. (2005). Protocolos de Humedad Gravimétrica. *Ciencia Del Suelo*, 1, 1–17. http://www.globeargentina.org/guia_del_maestro_web/suelos/protocolos/prothumedadgravimetrica.pdf
- Gomez Giraldo, J. C. (2013). Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos. *SENA*.
- Hao, H. xin, Qin, J. hui, Sun, Z. xiang, Guo, Z. lu, & Wang, J. guang. (2021). Erosion-reducing effects of plant roots during concentrated flow under contrasting textured soils. *Catena*, 203(February), 105378. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105378>
- Herber, L. G. (2011). Conductividad Eléctrica aparente como herramienta para delimitar Zonas de Manejo Sitio Especifico en Maíz (Zea mays) en la Provincia de Corrientes. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA*, 95.
- Hernández Flores, G. E. (2021). Política educativa para jóvenes en México: el derecho a la educación en condiciones de precarización. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 51(2), 43–70. <https://doi.org/10.48102/rlee.2021.51.2.373>
- Hill, R. L. (1990). Long-Term Conventional and No-Tillage Effects on Selected Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 54(1), 161–166. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400010025x>

- Honorato, R. (1997). *Manual de edafología* (U. C. de Chile (ed.); 3rd ed.).
- 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.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., & Contreras, J. (2013). Propiedades Físicas y Químicas del Suelo y Su Relación con la Actividad Biológica Bajo Diferentes Manejos en la Zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47–56.
- Lanza González, E. B., Pérez Gutiérrez, J. L., Silva López, C. A., & Janeiro Portela, R. (2019). Manual de procedimientos para la producción agrícola en proceso en la empresa agropecuaria horquita para el de cultivo papa. *Revista Científica. Revista Científica Agroecosistemas*, 1–88. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/320/338>
- Liang, H., Hu, K., Qin, W., Zuo, Q., & Zhang, Y. (2017). Modelling the effect of mulching on soil heat transfer, water movement and crop growth for ground cover rice production system. *Field Crops Research*, 201, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.003>
- Madriñan Molina, R. (2016). Manual de prácticas de laboratorio de física de suelos. *Universidad Nacional de Colombia*, 1.
- Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Vieira, J. G., Queiroz, M. I., & Jacob-Lopes, E. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Agua*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Mathias, J. M., & Thomas, R. B. (2021). Global tree intrinsic water use efficiency is enhanced by increased atmospheric CO₂ and modulated by climate and plant functional types. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(7). <https://doi.org/10.1073/pnas.2014286118>
- Mendoza Alcívar, M. R., & Valdez Rodríguez, M. G. (2015). *Labranza Mecanizada En La Productividad Del Cultivo De Maíz H. Trueno*. [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ]. [http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/36/1/Mendoza Alcívar Magno Rafael-Valdez Rodríguez María Gregoria.pdf](http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/36/1/Mendoza%20Alcivar%20Magno%20Rafael-Valdez%20Rodríguez%20María%20Gregoria.pdf)
- Morales Zapata, O. S. (2015). *Diseño de un sistema de arado para la preparación del suelo en cultivos orgánicos dirigido a pequeños agricultores*. 151, 10–17.
- 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.
- Nasab, M. S. E., Chun, S., & Kim, J. (2021). Soil-structure interaction effect on seismic retrofit of a soft first-story structure. *Structures*, 32(March), 1553–1564. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.03.105>

- OEA, Mixta, C., Amazonica, D. E. C., Integrado, D. R., General, S., Organizacion, D. E. L. A., Americanos, D. E. L. O. S. E., Regional, D. E. D., & Ambiente, Y. M. (1992). Programa de Desarrollo Integrado de las Comunidades Fronterizas. OEA, 157.
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea09s/begin.htm>
- Oñate Zúñiga, L. A. (2016). Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (*Zea mays*) var. blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del Cantón Cevallos. *Universidad Técnica de Ambato*, 102.
[http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18305/1/Tesis-116 Ingeniería Agronómica -CD 371.pdf](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18305/1/Tesis-116%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20CD%20371.pdf)
- ONU. (2017). *World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100*. United Nations. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html>
- Ortas, A. (2008). *El cultivo del maíz: fisiología y aspectos generales*. Boletín N 7. (En linea).
<http://nolaboreo.es/publicaciones/articulos/pdf/maiz.pdf>
- PDD. (2020). *Plan de Desarrollo Departamental del Caquetá 2020 - 2023*. 1–171.
https://caqueta.micolombiadigital.gov.co/sites/caqueta/content/files/001016/50760_pdd-caqueta-20202023.pdf
- Pellegrini, A. (2019). curso edafología departamento de ambiente y recursos naturales facultad de ciencias agraria y forestales. *U.N.L.P.*
[http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/33036/mod_resource/content/1/TEMA 5 - POROSIDAD Y AIREACIÓN.pdf](http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/33036/mod_resource/content/1/TEMA%205%20-%20POROSIDAD%20Y%20AIREACI%C3%93N.pdf)
- Peralvo, L. (2010). *Mecanización en la Agricultura*. Tomado de: Agrytec.Com.
- Pereira Morales, C. A., Maycotte Morales, C. C., Restrepo, B. E., Francesco, M., Montes Calle, A., & Esther Velarde, M. J. (2011). *Maquinaria Agrícola I*. 1, 146.
- Perez de los Reyes, C. (2021).  Qu  nos dice el color del suelo? *The Conversation*, 1–7.
[https://theconversation.com/que-nos-dice-el-color-del-suelo-158575#:~:text=El color del suelo es,naturaleza de sus posibles componentes.&text=En 1930%2C el Departamento de,de arte Albert Henry Munsell\).](https://theconversation.com/que-nos-dice-el-color-del-suelo-158575#:~:text=El%20color%20del%20suelo%20es,%20naturaleza%20de%20sus%20posibles%20componentes.&text=En%201930%2C%20el%20Departamento%20de%20Arte%20Albert%20Henry%20Munsell.)
- Portella, C. M. R., Guimarães, M. de F., Feller, C., Fonseca, I. C. de B., & Tavares Filho, J. (2012). Soil aggregation under different management systems. *Revista Brasileira de Ci ncia Do Solo*, 36(6), 1868–1877. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832012000600021>
- 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.
- Revelo, M. (2006). *Proyecto de prefactibilidad para la comercializaci n de maíz* (En linea).
- Rodríguez, J. H. V., Landin, W. E. C., Carre o, D. de los  . 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.
- Schmidt, S. A., & Ahn, C. (2021). Analysis of soil color variables and their relationships between two field-based methods and its potential application for wetland soils. *Science of the Total Environment*, 783, 147005. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147005>
- Silva, M. F. da, Fernandes, M. M. H., Fernandes, C., Silva, A. M. R. da, Ferraudo, A. S., & Coelho, A. P. (2021). Contribution of tillage systems and crop succession to soil structuring. *Soil and Tillage Research*, 209(January). <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104924>
- Six, J., & Paustian, K. (2014). Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biology and Biochemistry*, 68, A4. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.014>
- Smith, M., Shugart, H., & Woodward, F. I. (1994). *Plant functional types*.
- Sun, T., Wang, Y., Lucas-Borja, M. E., Jing, X., & Feng, W. (2021). Divergent vertical distributions of microbial biomass with soil depth among groups and land uses. *Journal of Environmental Management*, 292(May), 112755. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112755>
- Triviño-Pineda, J.-S., Contreras Garcia, J., Amorocho 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](http://repositorio.usco.edu.co/bitstream/123456789/351/1/TH%20IA%200237.pdf)
- Triviño-Pineda, J.-S., Reyes, C.-Y., & Ramírez-Sánchez, J. . (2021). Subproductos generados en el tratamiento y valorización de residuos sólidos urbanos dentro del concepto de biorrefinería : una revisión sistemática. *Revista Ingeniería y Región*, 25, 60–74. <https://doi.org/10.25054/22161325.2783>
- Triviño Pineda, J. S. (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>
- Triviño Pineda, J. S., Contreras García, J., Amorocho Cruz, C. M., & Sánchez Ramírez, J. E. (2021). Obtención de bioproductos a partir de residuos del beneficio húmedo del café (pulpa). *Revista Colombiana de Biotecnología*, XXIII(2), 6–14. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n2.90551>
- Ulloa, M. (1989). *Propuesta de reforma de la educación. México: Centro de Estudios Educativos*.
- USDA. (1998). *Keys to Soil Taxonomy*. <https://www.usda.gov/media/news-archives/informacion-y-servicios-del-united-states-department-agriculture-usda-por-sus>
- YU, Q., WANG, M., TIAN, Y., SHI, X., LI, X., XU, L., XIE, X., SHI, Y., & ZHU, Y. (2021).

Effects of porous clay ceramic rates on aeration porosity characteristics in a structurally degraded soil under greenhouse vegetable production. *Pedosphere*, 31(4), 606–614.
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60006-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60006-1)