

**Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZEQUIEL ZAMORA"**



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

**VICERRECTORADO
DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
GUANARE ESTADO PORTUGUESA**

**COORDINACIÓN
ÁREA DE POSTGRADO
POSTGRADO MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA
Y SUELO**

**EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA REDUCIDA SOBRE PROPIEDADES
FÍSICAS DE UN SUELO CULTIVADO CON MAIZ (*Zea mays*).**

Autor: Ing. PAA Jesús Manuel García David

Tutor: Prof. (a) Ing. MSc Mari Vargas

Guanare, julio 2021

**Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZEQUIEL ZAMORA"**



La Universidad que siembra

Vicerrectorado de Producción Agrícola

Coordinación de Área de Postgrado

Postgrado en Manejo de Recursos Agua y Suelo

**EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA REDUCIDA SOBRE
PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO CULTIVADO CON MAÍZ (*Zea
mays* L)**

Requisito parcial para optar al grado de *Magister Scientiarum*

Ing. P.A. Jesús Manuel García David

C.I: 9.406.769

Tutora: Prof^{ta}. Mari Vargas Colmenares

Guanare, julio 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZCQUEL ZAMORA"



Vicerrectorado de Producción Agrícola
Coordinación de Área de Postgrado
Postgrado en Manejo de Recursos Agua y Suelo

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo Mari Vargas, cedula de identidad N° 4.058.384 en mi carácter de tutora del Trabajo de Grado, titulado : **EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA REDUCIDA SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO CULTIVADO CON MAIZ (*Zea mays* L.)** presentado por el ciudadano: Jesús Manuel García David, para optar al título de M.Sc. Manejo de los Recursos Agua y Suelo por medio de la presente certifico que he leído el Trabajo y considero que reúne las condiciones necesarias para ser defendida y evaluada por el jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Guanare, a los 04 días del mes de mayo de 2021.

Nombre y Apellido:

Mari Vargas

Jesús Manuel García David

Firma de Aprobación del Tutor

Fecha de entrega: 04/05/2021

ACTA DE DEFENSA PÚBLICA



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE
LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"
Vicerrectorado de Producción Agrícola Programa de
Estudios Avanzados



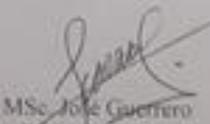
ACTA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO DE GRADO

En la sede del Vicerrectorado de Producción Agrícola de la UNELLEZ-Guanare, a las 9:30 a.m., del día viernes 16 de julio del dos mil veintiuno, se reunieron los profesores: Mari Vargas, José Guerrero y Marbella Arias, miembros del Jurado Evaluador designado por la Comisión Asesora de Estudios Avanzados del Vice-Rectorado de Producción Agrícola, según Resolución N° 503/2021, de fecha 22/06/2021, Acta N° 025/2021 Ordinaria Punto N° 32, para proceder a emitir el veredicto sobre la defensa pública del Trabajo de Grado titulado: "EFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA REDUCIDA SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO CULTIVADO CON MAÍZ (*Zea mays* L.), desarrollado por el Ingeniero Jesús Manuel García David, titular de la cédula de identidad V-9.406.769, como requisito parcial para optar al grado académico de MAGÍSTER SCIENTIARUM EN MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO.

Cumplido el acto de presentación pública, el cual finalizó a las 10:15 p.m., los miembros del Jurado Evaluador resolvieron que el Ingeniero Jesús Manuel García David, demostró dominio de los temas propios de su tesis, por lo tanto se califica como suficiente por lo que se aprueba.


MSc. Mari Vargas
C.I. V-4.058.384
Tutora y Coordinadora
UNELLEZ-Guanare


MSc. Marbella Arias
C.I. V-3.443.431
URTP- JIMONTILLA
Jurado Principal Externo


MSc. José Guerrero
C.I. V-9.251.966
Jurado Principal Interno
UNELLEZ-Guanare



DEDICATORIA

A Dios todopoderoso y a la Santísima Virgen de Coromoto por ser mi fuerza y fortaleza en esta nueva meta en el ámbito profesional.

A mis padres Ramón García y Juana David, al tío Guillermo García aunque hoy no están presentes físicamente siempre me orientaron a continuar en mi crecimiento profesional y alcanzar la especialización en mi área de competencia.

A mis hijos: Jesús Ramón, Manuel David y María Gabriela lo más grande que me ha dado la vida, fuentes de inspiración, fortaleza y dedicación en esta investigación, por su paciencia y renuncia generosa a uno de los bienes más preciados y difíciles de recuperar, como es el tiempo en compañía de las personas queridas, para ellos todo mi amor.

Este esfuerzo no hubiese sido posible sin el aporte y apoyo de mis seres queridos

JESÚS MANUEL GARCÍA DAVID

AGRADECIMIENTOS

A mi querida y amada Alma Mater la UNELLEZ La Universidad que Siembra.

A la Coordinación de Postgrado del Vicerrectorado de Producción Agrícola y a la Coordinación del Postgrado en Manejo de los Recursos Agua y Suelos.

A mi Tutora, la Profesora Mari Vargas, quien con su apoyo y orientación profesional permitió la culminación de esta investigación.

Al Profesor Carlos E. Párraga por toda su colaboración en el procesamiento de datos.

Al Ing., MSc José Guerrero por su apoyo incondicional en la revisión del trabajo de investigación y procesamiento de datos.

A la Ing. Jaqueline Rodríguez por su apoyo en el desarrollo de la investigación en la unidad de producción.

Al señor Germán Escalona propietario de la finca La Preferida por permitir el desarrollo de la investigación en su unidad de producción.

Al técnico de campo Pablo Urbina quien me dio su apoyo en todas las actividades programadas del cultivo.

A la Ing. MSc. Jimel Orozco (esposa) por su apoyo incondicional en todas las actividades de campo y análisis de la información.

A todos aquellos que de una forma u otra colaboraron en la realización de esta investigación.

JESÚS MANUEL GARCÍA DAVID

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.....	iii
RESUMEN.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I. (MARCO TEÓRICO).....	4
Antecedentes.....	4
Sistemas de labranza del suelo	6
Labranza convencional	8
Labranza de conservación.....	10
1. Labranza mínima.....	10
2. Cero labranza.....	11
3. Labranza reducida.....	12
Propiedades físicas del suelo	14
Densidad aparente.....	15
Porosidad.....	17
Infiltración.....	18
Parámetros de la infiltración.....	18
Contenido de la materia orgánica.....	21
Afectación de las propiedades físicas del suelo por labranza.....	22
Afectación de la materia orgánica del suelo sobre las propiedades físicas	24
Manejo del cultivo.....	26
CAPÍTULO II. (MARCO METODOLOGICO).....	27
Ubicación del área de estudio.....	27
Diseño experimental.....	28
Variables a evaluar.....	30
Materia orgánica.....	31
Densidad aparente.....	31
Infiltración.....	32
Espacio poroso.....	32
Rendimiento de la materia verde.....	33
CAPÍTULO III. (RESULTADOS Y DISCUSIONES).....	34
Contenido de la materia orgánica.....	34
Densidad aparente.....	34
Espacio poroso.....	35
Infiltración básica.....	37
Rendimiento de la materia verde por hectárea de maíz con diferentes	39
sistemas de labranza reducida.....	40
Relación entre el rendimiento y las propiedades del suelo con los	42
diferentes sistemas de labranza.....	42
CONCLUSIONES.....	43
RECOMENDACIONES.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS.....	56

LISTA DE TABLAS

1	Densidad aparente con relación a la textura del suelo.....	16
2	Clasificación de la velocidad de infiltración básica.....	19
3	Clasificación de la velocidad de infiltración en función de la textura del suelo	20
4	Métodos utilizados para medir las variables químicas y físicas.....	31

LISTA DE FIGURAS

1	Clasificación de los Sistemas de labranza.....	8
2	Localización geográfica del área de estudio.....	28
3	.División del lote en bloques en subparcelas.....	30
4	Porcentaje de materia orgánica con diferentes sistemas de labranza y periodos evaluados.....	34
5	Determinación de la densidad aparente con diferentes sistemas de labranza y periodos evaluados.....	37
6	Porcentaje de espacio poroso total con diferentes sistemas de labranza y periodos evaluados.....	39
7	Velocidad de infiltración básica con diferentes sistemas de labranza y periodos evaluados	40
8	Rendimiento de la materia verde por hectárea.....	41
9	Relación entre el rendimiento y las propiedades del suelo evaluadas con diferentes sistemas de labranza.....	42



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICERRECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO DE LOS RECURSOS AGUAS Y SUELOS

**EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA REDUCIDA SOBRE
PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO CULTIVADO CON MAÍZ (*Zea mays* L).**

AUTOR: JESÚSMANUEL GARCIA DAVID
TUTOR: MARI VARGAS COLMENARES
AÑO: 2018

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de tres sistemas de labranza reducida sobre algunas propiedades físicas de un suelo cultivado con maíz (*Zea mays*), en la hacienda La Preferida C.A., ubicada en la carretera nacional Guanare-Ospino Troncal 5, sector Suruguapo municipio Guanare estado Portuguesa, en un suelo Inceptisol. La investigación se efectuó en los meses de agosto a octubre de 2017. Los tratamientos o sistemas de manejo evaluados fueron T0 = Tres pases de rastra (TPR), T1= Un pase de rastra (UPR) y T2= Un pase de subsolador, mas un pase de rastra (UPS+UPR). Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado de tres tratamientos y tres repeticiones, utilizando un equipo de siembra directa. Las variables estudiadas fueron: Materia orgánica (MO), Densidad aparente (DA), Espacio Poroso total (EPT), Infiltración básica (Ib) y Rendimiento de la materia verde de maíz (RMV). El EPT, Ib y el RMV por hectárea fueron influenciados por los sistemas de labranza y fueron superiores al disminuir la intensidad del laboreo del suelo. La MO y la DA no fueron influenciadas por los sistemas de labranza. La interacción del RMV por hectárea y las propiedades físicas del suelo y la MO, evidenciaron que el sistema de labranza UPS+UPR mostró un mejor comportamiento sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y en el rendimiento del cultivo.

Palabras Clave: Propiedades del suelo, rendimiento del maíz, sistemas de labranza.

Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZEQUIEL ZAMORA"



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICERRECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO DE LOS RECURSOS AGUAS Y SUELOS**

EFFECT OF THREE SYSTEMS OF REDUCED TILLAGE ON PHYSICAL
PROPERTIES OF A SOIL CULTIVATED WITH CORN (*Zea mays* L).

AUTOR: JESÙS MANUEL GARCIA DAVID
TUTOR: MARI VARGAS COLMENARES
AÑO: 2018

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the effect of three reduced tillage systems on some physical properties of a soil cultivated with corn (*Zea mays*), at the La Preferida CA farm, located on the Guanare-Ospino Troncal 5 national highway, Suruguapo sector. Guanare municipality, Portuguesa state, in an Inceptisol soil. The research was carried out from August to October 2017. The treatments or management systems evaluated were T0 = Three harrow passes (TPR), T1 = One harrow pass (UPR) and T2 = One subsoiler pass, plus a harrow pass (UPS + UPR. A completely randomized experimental design of three treatments and three repetitions was used.), using a direct seeding equipment. The variables studied were: organic matter (OM), apparent density (DA), total porous space (EPT), basic infiltration (Ib) and yield of corn green matter (RMV). The EPT, Ib and the RMV per hectare were influenced by the tillage systems and were higher when the intensity of soil tillage decreased. OM and DA were not influenced by tillage systems. The interaction of the RMV per hectare and the physical properties of the soil and OM, indicated that the UPS + UPR tillage system showed a better behavior on the physical and chemical properties of the soil and on the crop yield.

Key Words: Soil properties, corn yield, tillage systems.

INTRODUCCIÓN

En el estado Portuguesa, Venezuela, la mayoría de los agricultores preparan el suelo para el cultivo del maíz de forma mecánica, labores realizadas muchas veces de manera excesiva, sin medidas de conservación de suelos que ejercen efectos diferenciales en las características físicas, químicas e hidráulicas de los suelos y en el rendimiento de los cultivos (Báez y Aguirre 2011).

A la luz del conocimiento actual, existen evidencias que la labranza convencional en la agricultura moderna mediante el uso intensivo del arado y la rastra, modifica la estructura de la capa superficial del suelo, la continuidad del espacio poroso y disminuye el contenido de materia orgánica, lo cual influye en la disminución de los rendimientos del cultivo (Espinoza 2010; Mendoza *et al.* 2015; Gómez, Villagra, y Solórzano 2017; y Sifuentes *et al.* 2018). Estudios realizados por López – Falcón y Delgado (2015) señalan que en las últimas décadas, los suelos de los llanos occidentales han sido sometidos a una agricultura básicamente dedicada a cultivos intensivos de secano, como el maíz o sorgo, altamente mecanizados, sin medidas de conservación de suelos. Asimismo, Mendoza *et al.* (2015) refieren que la labranza convencional ha desmejorado la calidad del suelo, deteriorado la estructura y reducido la infiltración, carbono orgánico y la biomasa microbiana del suelo. Espinoza *et al.* (2017) en el municipio Agua Blanca del estado Portuguesa, demostraron que prácticas de manejo como la labranza convencional influye sobre los niveles de materia orgánica en suelos cultivados con maíz.

Diferentes modalidades de labranza de conservación a largo plazo, han surgido como una alternativa viable en recuperar la fertilidad física, biológica y química de los suelos, con mínima perturbación al mismo (Mora *et al.* 2001). Estos sistemas permitirán incrementar los valores de materia orgánica, nitrógeno y carbono orgánico, así como la biomasa microbiana, dando como resultado, a través del tiempo, una mejor condición de fertilidad y agregados al suelo (López, 2010). Asimismo, se consigue mayor captación, disponibilidad y eficiencia del agua por los cultivos

(Martín *et al.* 2016), menor compactación en el perfil del suelo a largo plazo, mayor estabilidad estructural y mejores condiciones de porosidad (González *et al.* 2011) y finalmente, menor costo de producción y mayor rentabilidad de los cultivos.

En Venezuela, en los últimos años se han desarrollado trabajos de investigación en sistemas de labranza conservacionistas (Ohep, 1994; Ohep, 2002; Lozano *et al.* 2011 y García *et al.* 2018). Sin embargo, aunque la información es valiosa, es necesario generar más conocimiento base a partir de la cual se pueda realizar estimaciones referentes a los impactos positivos o negativos que se ocasionan en los suelos, como consecuencia de los cambios en su uso y de las prácticas de manejo utilizadas en los sistemas de labranza reducidos. Los nuevos aportes permitirán establecer y valorar el efecto que pueda generar estos sistemas de uso en las propiedades físicas del suelo y por consiguiente su calidad, de tal manera que se dispongan de criterios para la toma de decisiones.

Existen indicadores de calidad del suelo para medir su degradación (Ferrerías *et al.* 2007; García *et al.* 2012 y Estrada *et al.* 2017), que facilitan evaluar el grado de vulnerabilidad de estos y las acciones correctivas a tomar de acuerdo con el sistema productivo (Jamioy, 2011), entre los que destacan el contenido de materia orgánica (M.O) como lo refiere Lozano (2015), al igual que la actividad microbiológica (FAO, 2017), las cuales varían en el suelo y están relacionados con la porosidad y la humedad del mismo. Tanto la M.O, como la porosidad y la humedad influyen directamente en la recuperación de la estructura y estabilidad cuando los suelos son sometidos a diferentes tipos de manejo (Sifuentes *et al.* 2018). La densidad aparente (Da), también es otra de las variables a medir cuando se busca evaluar la calidad del suelo. Su interpretación sirve como indicador de la compactación. Es así, si hay valores bajos de densidad aparente ($1-1,3\text{g/cm}^3$) se suministra una condición física favorable para la siembra de cultivos (Contreras, 2009). Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de tres sistemas de labranza reducida sobre propiedades físicas de un suelo cultivado con maíz.

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de tres sistemas de labranza reducida sobre propiedades físicas del suelo y el rendimiento del maíz en materia verde para silaje.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.- Caracterizar el suelo del área de estudio en la finca La Preferida, sector Suruguapo.
- 2.- Determinar los cambios en densidad aparente, porosidad total, infiltración básica, y materia orgánica en los sistemas de labranza reducida aplicados.
- 3.- Analizar el efecto de la labranza reducida sobre las propiedades físicas evaluadas, materia orgánica y el rendimiento del cultivo maíz.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes

En el país, la compactación de los suelos bajo cultivos intensivos, es una de las formas más generalizadas de degradación del suelo, la cual está en franco incremento, principalmente en los Llanos Occidentales y Orientales por el uso excesivo de maquinarias agrícolas. En el estado Portuguesa, el principal tipo de labranza utilizado en los sistemas de producción de monocultivos como el maíz es la labranza convencional. Esta modalidad realizada de manera intensiva resulta frecuentemente en una excesiva mecanización con efectos detrimentales sobre las propiedades del suelo, particularmente en el comportamiento físico del mismo.

Hernández y Vargas (2013) refieren que entre los procesos de deterioro físico más relevantes destacan el grado de compactación y/o resistencia a la penetración del suelo, el cambio estructural, la redistribución de la macro y microporosidad, la disminución de la infiltración que restringe el aprovechamiento de la humedad del suelo, entre otros aspectos que fueron detectados en un estudio comparativo entre labranza convencional y siembra directa en suelos arroceros del estado Cojedes. Al respecto, Trujillo, Méndez, Hossne y Parra (2010) señalan que la densidad del suelo varía con el porcentaje de humedad así como también el ángulo de fricción interna de las partículas, de tal manera que la humedad edáfica influye en la penetrabilidad radical, la cual disminuye las acciones de resistencia de los parámetros físicos y edafomecánicos. Estos procesos degradativos del suelo se ven influenciados también por la pérdida de la materia orgánica que juega un papel importante en la formación y mantenimiento de la estructura del suelo, el almacenamiento de agua y la retención de nutrientes (Lozano, 2007). La condición física de un suelo en consecuencia, determina la firmeza, la rigidez, el soporte y la facilidad para la penetración de las raíces, de acuerdo con el comportamiento de sus características como la estructura, textura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, capacidad de

almacenamiento de agua, conductividad eléctrica y por tanto sirven como indicadores para definir el comportamiento de los cultivos y la gestión de la mecanización del suelo, ya que regulan el crecimiento de las raíces y el movimiento del agua a través del perfil del suelo (Vargas-Machuca, 2010).

Una de las propiedades del suelo más afectadas por la labranza es su estructura, la cual condiciona otras propiedades, de allí que investigaciones han sido orientadas hacia su evaluación. Al respecto, Espinoza (2010) en un ensayo realizado al sur del estado Aragua y norte de Guárico, evaluó el efecto de tres sistemas de labranza y cultivo continuo de maíz (siembra directa, SD; labranza mínima, LM y convencional, LC) en suelos previamente sembrados con algodón con el propósito de valorar el efecto de la labranza sobre las fracciones de carbono orgánico (C), nitrógeno del suelo (N) y la estabilidad estructural. Utilizó un arreglo en parcelas divididas (15 x15m) y tres repeticiones, con 90 plantas por hilera. Los resultados indicaron que LC y LM incrementaron los niveles de carbono recalcitrante del suelo, pero disminuyó la fracción lábil de C (masa microbiana y no microbiana) en relación con la SD. Igualmente la SD mostró mejor comportamiento con respecto al tamaño de los agregados del suelo > a 250 μm , con un incremento del 8 % mientras que LC disminuyó en 10 % la misma fracción.

Posteriormente, Espinoza et al. (2017) en suelos del municipio Agua Blanca del estado Portuguesa evaluaron la influencia de sistemas de labranza (Labranza convencional-LC; Labranza reducida-LR, y Siembra Directa-SD) sobre la estructura del suelo y la materia orgánica, aplicaron un diseño experimental con bloques completamente aleatorizados y tres repeticiones. Los resultados arrojaron una correlación negativa significativa entre todas las fracciones de Carbono y Nitrógeno, con excepción del Nitrógeno de la masa microbiana con la Densidad Aparente y el Carbono del suelo. Los autores concluyeron que la pérdida de la materia orgánica (MO) debido a la labranza fue consecuencia de la mineralización de las fracciones lábiles físicamente protegidas en los agregados de suelo, que se evidenció por el tiempo de permanencia (≈ 30 años) de la MO bajo SD comparado con la LR y LC. En

el análisis de componentes principales la SD se vinculó con las fracciones de C y N, la macro agregación del suelo, la altura de la planta y el alto rendimiento del grano de maíz.

2. Bases conceptuales

Sistemas de Labranza del suelo

Se refiere a sistemas de mecanización del suelo u otras prácticas, que facilitan las labores agrícolas de instalación de un cultivo, entre las que destacan el control de malezas, mejoramiento de la germinación de semillas, incorporación de materia orgánica al suelo, entre otras. Jaramillo (2002) define laboreo, labranza o mecanización del suelo como todas aquellas prácticas de manejo del suelo o del cultivo o explotación, que se llevan a cabo con máquinas que se desplazan sobre él; separa y hace referencia únicamente a aquellas labores que se hacen bajo condiciones de uso intensivo del suelo, excluyendo las áreas de ladera. Puntualiza que la labranza del suelo tiene como objetivos fundamentales mejorar el espacio físico del suelo en el cual van a estar las raíces de las plantas y combatir algunas malezas, plagas y enfermedades que puedan atacar al próximo cultivo. Igualmente, Satorre et al. (2016) conceptúan como labranza a toda práctica o intervención mecánica realizada al suelo con la finalidad de modificar algunas de sus propiedades físicas, químicas o biológicas. Así mismo, para González (2018) es un conjunto de operaciones que se realizan con equipos mecánicos, con el fin de darle al suelo las condiciones óptimas para que puedan germinar las semillas y propiciar el posterior desarrollo de las plantas.

Como se aprecia, varias definiciones sobre labranza son reportadas en la literatura; sin embargo, son coincidentes en cuanto a los efectos en las propiedades del suelo, tal y como lo refieren Delgado, Cabrera, Gámez y Navarro (2010) y Báez y Aguirre (2011), quienes señalan que la labranza afecta entre otros aspectos las características biofísicas e hidrológicas del suelo, el almacenamiento y capacidad de suministro de nutrimentos y agua del mismo, la capacidad exploratoria de las raíces, así como la

disposición y tasa de descomposición de residuos de cosecha. Igualmente, incide en las plagas, enfermedades, malezas, asociado a ello, al desarrollo y productividad de los cultivos; por tanto, el impacto de los sistemas de labranza depende del manejo del suelo, del tipo del cultivo y del comportamiento del clima.

La sobreexplotación de los recursos naturales y la aplicación de prácticas agresivas de manejo a los recursos suelo y agua pueden provocar la reducción significativa de la productividad de estos recursos (Rodríguez et al. (2015). En el caso del suelo, una de las causas fundamentales es el uso inadecuado en los sistemas de labranza. Debido a que, modifican la cantidad y distribución del tamaño de los agregados y la estabilidad estructural (Iglesias, Galantini, y Vallejos, 2018). Por lo tanto, es importante conocerlos, ya que permitirán establecer y valorar el efecto que pueda generar en las propiedades físicas del suelo y por consiguiente su calidad, de tal manera que se dispongan de criterios para la toma de decisiones.

Existen suficientes evidencias de los efectos diferenciales que ejercen los sistemas de labranza en las características físicas, químicas e hidráulicas de los suelos y por tanto en el comportamiento y rendimiento de los cultivos (López et al. 2017); sin embargo estos efectos o consecuencias ameritan ser evaluadas en el contexto en el que se desarrolla la actividad agrícola. Es así como, ante la necesidad de buscar alternativas de manejo que disminuyan los impactos negativos al suelo como resultado de las prácticas convencionales, a partir de los años 70 surgen nuevos paradigmas para mitigar y proteger los suelos que reduzcan su degradación y conlleven a la sostenibilidad del recurso; generándose diferentes modalidades orientadas a la reducción de la intensidad del laboreo, a la menor alteración y remoción del suelo, en procura de lograr el adecuado equilibrio entre sus propiedades químicas, físicas y biológicas para garantizar su disponibilidad a las futuras generaciones y de este modo cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible (Puentes y Legarda, 1999).

De acuerdo con lo anterior y con el devenir de las estrategias desarrolladas orientadas a este propósito, se ha puesto en práctica diversos tipos de labranza, los cuales se ilustran en la Figura 1.

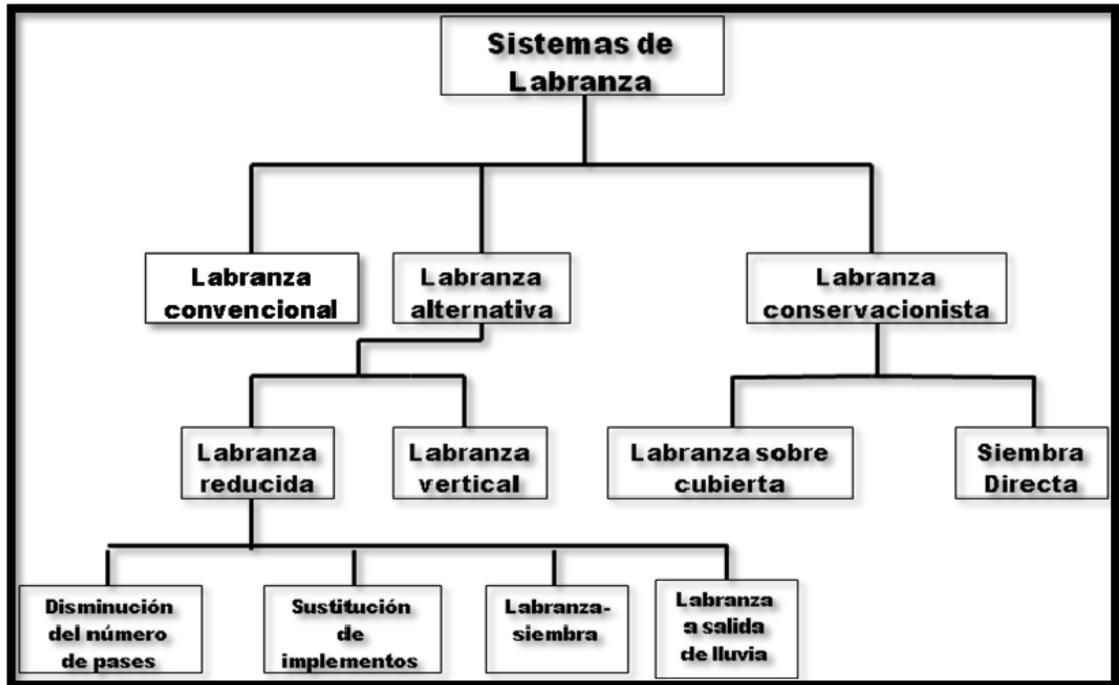


Figura 1. Clasificación de los sistemas de labranza
Fuente: López-Falcón y Delgado. 2015

A los fines de esta investigación, se discutirán algunas de ellas, con énfasis en las modalidades evaluadas en el presente estudio.

Labranza convencional

Consiste en un sistema de preparación de suelo, con escasa cobertura de residuos vegetales precedentes de cultivos anteriores, que utiliza implementos de alto impacto para una labranza principalmente horizontal, que alteran importantes propiedades en unos casos favorablemente y en otros no. Este sistema ha permitido el aumento de las áreas de siembras debido al incremento de la eficiencia en las labores, y al mejoramiento temporal de algunas propiedades del suelo en la rizosfera (Gómez,

Villagra y Solórzano, 2017). No obstante, en condiciones desfavorables, ha contribuido con la degradación del suelo, siendo la capa arable la más afectada.

Los implementos utilizados entre estos, arados de vertedera o de disco para dar profundidad de labor e invertir el suelo y un número limitado de pases con rastras de discos o de clavos, vibrocultivador, rotofresadoras, rotovatores, entre otros, provocan ruptura de los agregados del suelo, desmenuzamiento y pulverización según sea la condición y la humedad del suelo (López-Falcón y Delgado, 2015; Sotomayor-Ramírez, Espinoza y Ramos-Santana, 2007). Así mismo, como consecuencia de la remoción del suelo provoca otros efectos adversos; algunos de ellos, la exposición de horizontes indeseables en superficie, la erosión eólica o hídrica, según el agente al cual está expuesto el suelo. Igualmente, la afectación de la biodiversidad del suelo por destrucción física de macro invertebrados, así como la exposición de los meso y micro invertebrados del suelo al exponerlo a los principales agentes erosivos (agua y viento). La remoción del suelo aumenta la presión parcial de oxígeno, estimulando a una oxidación de la materia orgánica del suelo por los microorganismos (Lal, 1989).

Deagustini, Franco, Agostini, Studdert y Tourn (2017) evaluaron el efecto de la utilización de labranza convencional con arado de rejas, siembra directa y labranzas con discos livianos, sobre algunas propiedades físicas de un Argiudol típico. Se aplicó un diseño experimental con bloques completos aleatorizados con arreglo de factores en parcelas sub-divididas con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: densidad aparente (DA), estabilidad de agregados (EA), velocidad de infiltración (INF) y resistencia mecánica a la penetración (RMP). Los resultados arrojaron que EA y RMP disminuyó a medida que aumentó el grado de remoción del suelo, la DA fue mayor en labranza convencional y la INF no fue significativamente afectada por los sistemas de labranza.

Labranza de conservación

Serie de técnicas que permiten detener o revertir los efectos nocivos del exceso de laboreo sobre las propiedades físicas y químicas del suelo promoviendo los procesos biológicos y, por tal motivo, permitiendo conservar o recuperar la productividad del mismo (Galván, 2006). Entre las técnicas que permiten revertir los efectos negativos del exceso de laboreo se incluyen variantes como cero labranza, labranza mínima, labranza reducida o siembra directa, cada una de las cuales representa opciones técnicas. Estas traen como beneficios: el mejoramiento económico de la producción agrícola, el incremento de la materia orgánica, el mejoramiento de la calidad del suelo, la reducción de los requerimientos de mano de obra, menores costos de maquinaria, menor consumo de combustibles fósiles, menor escorrentías y más disponibilidad de agua para las plantas, reducción de la erosión del suelo, incremento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas y el mejoramiento del ambiente a nivel global (FAO,2008).

1. Labranza mínima

Labranza en la cual se minimiza el número de operaciones de la labranza secundaria, bien porque se han hecho modificaciones a la labranza primaria o bien porque se usan sistemas especiales de siembra (Jaramillo, 2002). Para aplicar, los procedimientos de labranza mínima, no se requieren equipos especiales ni sofisticados. Se utilizan implementos comunes dispuestos en tándem (uno detrás de otro) y aplicados en la oportunidad adecuada y en relación al contenido de humedad del suelo.

Asimismo, Homer y Casanova (2011) señalan que esta modalidad constituye un sistema de laboreo intermedio, entre la tradicional y la conservacionista, que incluye la minimización del uso de maquinaria, disminución de la cantidad de labores o el empleo de máquinas en tandem. Dentro de este rango de técnicas se pueden encontrar desde sistemas tradicionales hasta conservacionistas, según el tipo de máquinas que se emplee. No obstante; Valverde, Ramos y Parra (2015)

conceptualizan de manera muy específica su visión de este sistema, el cual consiste en la aplicación de herbicida con 2 semanas de anticipación a la siembra, surcado superficial con tractor utilizando tiller, fertilización y siembra. Control de malezas durante el ciclo del cultivo, entre las hileras con herbicida utilizan pantalla; las malezas que se encuentran en la línea de siembra se eliminan manualmente y con herramientas manuales como la hoz.

Olivet-Rodríguez y Cobas-Hernández (2017) valoraron el efecto de dos sistemas de labranza mínima sobre la porosidad en un Fluvisol para el cultivo del frijol. Aplicaron un diseño experimental con bloques al azar, con dos tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos de estudio fueron: T1, labranza mínima; T2, labranza reducida. Los resultados mostraron que el T1 obtuvo el mejor comportamiento, manteniendo una mejor conservación del suelo en el perfil de 0–30 cm de profundidad. Antes de finalizar el cultivo, se obtiene el mayor contenido de porosidad media del suelo, la más alta: 52,72 %. T1 facilitó una mejor penetración de las raíces y desarrollo del cultivo, con un rendimiento agrícola de $1,00 \text{ t ha}^{-1}$, 30 % superior al rendimiento obtenido por T2.

2. Cero labranza

En esta modalidad el suelo no recibe labranza alguna durante todo el proceso de instalación desde la cosecha del cultivo hasta la siembra del siguiente, con excepción de la aplicación de materia orgánica y el control de las malas hierbas que se realiza de forma manual sobre la superficie del terreno. Según la FAO (2001) es un conjunto de técnicas utilizadas en la agricultura de conservación, con el fin de mejorar y hacer sostenible la producción agrícola. Se aplican operaciones fundamentales de la agricultura de conservación y, junto con los principios de los cultivos de cobertura y la rotación de cultivos, es su principal constituyente, por ello requiere de la tecnología y equipamiento necesario para su funcionamiento adecuado bien sea en siembra directa o en siembra de precisión.

En este sentido, Gutiérrez, Lanuza y Rugama (2019) evaluaron el efecto de la agricultura de conservación y convencional en el desarrollo y producción del cultivo de la guayaba. Aplicaron un arreglo experimental de parcelas apareadas, con dos tratamientos experimentales: agricultura de conservación (cobertura de Canavalia, maíz y arvenses) y agricultura convencional (sin cobertura). En el ensayo, se levantaron datos de 30 plantas en cada parcela (la Mora y Colón abajo), para un total de 180 plantas muestreadas. Se evaluaron las variables altura, diámetro y número de guayabas en tres réplicas de parcelas convencionales y de conservación. Los resultados arrojaron que la parcela con cobertura obtuvo el mayor número de guayaba, mientras que la parcela sin cobertura tiene menor cantidad de frutos, pero no así en la altura y diámetro en estas dos últimas variables se encontró mejores resultados en las parcelas sin cobertura.

3. Labranza reducida (LR)

Consiste en la reducción del número de operaciones durante el laboreo con respecto a la labranza convencional, por lo cual, es una alternativa viable para la recuperación física, química y biológica del suelo (González, 2018).

En este orden de ideas, Gómez y Estrada (2020) evaluaron el efecto de diferentes tipos de labranza con el fin de recomendar variaciones en la gestión de la mecanización del suelo. Los tratamientos de estudio fueron: T0: corresponde a las condiciones iniciales del terreno antes de realizar las mecanizaciones. T1: tratamiento cero labranza. T2: tratamiento con un pase de arado de cincel + un pase de arado rotador, lo que corresponde a labranza convencional. T3: tratamiento con un pase de arado de cincel, es decir, labranza vertical reducida o mínima. Las variables estudiadas fueron: contenido de materia orgánica (MO), densidad aparente (Da), conductividad hidráulica (k) y retención de humedad (RH) y resistencia a la

penetración (RP), cuyas mediciones fueron tomadas en campo antes de los tratamientos (T0), y 6 meses después de cada mecanización (T1, T2 y T3), a profundidades de 0-15, 15-30 y 30-45 cm en tres puntos diferentes de cada parcela. Los resultados arrojaron que T2 mostró aumentos de MO ($p < 0.05$), por efecto a corto plazo del corte superficial de la cobertura vegetal y Da aumentó ($p < 0.05$) a los 30-45 cm en T1, debido a que no hubo pase de arado de cincel. Ningún tratamiento cambió la condición de k moderada hasta los 30 cm de profundidad. T3 mejoró RP ($p < 0.05$) hasta esa misma profundidad debido al pase de arado de cincel. La RH no experimentó cambios ($p < 0.05$). Se concluye que por la ineficiencia de operación ya que no hay mejora física del suelo en el corto plazo, no es necesario labrar cada seis meses, lo que reduciría las tasas de erosión de la zona.

En un ensayo similar, Sifuentes et al. (2018) evaluaron el efecto de la siembra directa (SD) en las propiedades físicas del suelo bajo cultivo con maíz en tres ciclos agrícolas, donde se establecieron los tratamientos 1) Siembra directa (SD); y 2) labranza convencional de la región (LC) en 0.5 ha cada uno. Las variables evaluadas fueron densidad aparente (Da) y porosidad total (E). Los resultados mostraron que SD produjo un incremento de 10% en la porosidad total, y en Da no se encontró respuesta en los tres ciclos agrícolas, concluyeron que en general la SD contribuyó ligeramente con el mejoramiento de las propiedades del suelo.

De igual modo, García, Cárdenas, y Parra (2018) evaluaron el impacto de tres sistemas de labranza sobre la densidad aparente (Da) y la porosidad (ρ) en un suelo Inceptisol, utilizaron un diseño completamente al azar con tres tratamientos y cinco repeticiones para 15 unidades experimentales, evaluados en dos épocas: M1: antes de la preparación y M2: después de dos meses de siembra de maíz. Los tratamientos consistieron en T1: Labranza reducida (desbrozadora, un pase de cincel vibratorio, un pase de rastra y siembra), T2: siembra directa y T3: labranza de conservación (desbrozadora, un pase de cincel vibratorio, siembra con 30% de cobertura. Los

resultados arrojaron que el T3 alcanzó una Da más baja en ambas épocas (1,27g/cm³). La porosidad fue mayor con el T3 sin diferencias entre muestreos.

Otros investigadores como Ramírez, Figueroa, Núñez, Reta, y García (2016), condujeron un estudio referido a la evaluación de métodos de labranza y aplicación de estiércol en la producción de maíz forrajero, con la finalidad de evaluar la factibilidad de uso de la labranza reducida del suelo en la producción de maíz forrajero y determinar el efecto combinado de la labranza y la incorporación de estiércol en la materia orgánica del suelo. El estudio se realizó en la Comarca de Lagunero en México. Utilizaron un diseño en parcelas divididas y tres métodos de labranza primaria del suelo (parcela principal) y aplicación de estiércol (subparcela): a) labranza convencional, que consistió en barbecho con arado de cuatro discos seguido por un paso de rastra de discos. b) labranza reducida con arado vertical de siete cinceles y alerones para roturación horizontal, c) labranza reducida con rastra con dos barras una de discos dentados y otra de discos lisos, consistente en doble paso de rastra. Los hallazgos encontrados indicaron que la labranza reducida en cualquiera de sus dos modalidades resultó más favorable, al presentar diferencias de rendimiento en el primer y segundo ciclo entre 5 y 10% con respecto a la convencional. Igualmente la labranza reducida disminuyó el tiempo y el gasto de combustible.

Los estudios anteriores evidencian que la labranza de conservación en sus diversas modalidades puede ser una alternativa para mejorar o mantener las cualidades del suelo y producir incrementos en el rendimiento de los cultivos. Debido a la variabilidad espacial y temporal del suelo, estas alternativas deben ser validadas dada su condicionamiento al tipo de suelo, clima y manejo del cultivo.

2.- Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo son el resultado de la interacción que se origina entre las distintas fases del mismo (suelo, agua y aire) y la proporción en la que se encuentran cada una de estas (INTAGRI, 2017). Además, determinan en gran medida la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta (Gaibior, 2019). La condición física de un suelo, determina la capacidad de sostenimiento, la facilidad para la penetración de raíces, circulación del aire, capacidad de almacenamiento de agua, drenaje y retención de nutrientes. Asimismo, facilita evaluar el grado de vulnerabilidad de los suelos y las acciones correctivas a tomar de acuerdo con el sistema productivo (Jamioy 2011). Algunos indicadores como densidad aparente, espacio poroso total, infiltración, entre otros; se utilizan para medir la degradación del suelo, características éstas que pueden ser alteradas negativamente por las prácticas de manejo intensivo de la agricultura convencional (Valenzuela, Franyer y Efrain, 2015), con afectación sobre el crecimiento radicular, la dinámica del agua y el aire (Gómez, 2011) y la calidad de infiltración (Gómez, Villagra y Solórzano, 2017).

Algunas de las propiedades físicas que influyen en el desarrollo del cultivo son las siguientes:

Densidad aparente (Da)

La densidad aparente definida como la relación entre la masa seca (M_{ss}) al horno de las partículas de suelo y el volumen total (V_t), incluyendo el espacio poroso que ocupan ($Da = M_{ss}/V_{sa}$ donde Da = Densidad aparente en gr/cm^3 o kg/m^3 , M_{ss} = Masa del suelo seco en gr o kg y V_{sa} = Volumen del suelo seco sin alterar en cm^3 o m^3 (Gómez, 2013). Es una propiedad física del suelo, de gran importancia en el desarrollo de los cultivos y muy relacionada con el uso del suelo, ya que es un indicador de la compactación del mismo (Ríos, Rojas, Santacruz, Villalba y Oroa, 2018).

Los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de muchos factores, incluyendo la textura, la estructura y contenido de materia orgánica del suelo, así como del manejo del mismo. En contraste con la densidad real, que es más o menos constante, la densidad aparente es altamente variable debido a variaciones en la cantidad / calidad del espacio poroso. Por lo tanto, en función a la clase textural esa relación difiere de acuerdo con la granulometría presente como se aprecia en la Tabla1, es así que en los suelos de textura fina, bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica se presentan valores más bajos de densidad aparente que en los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica (Quispe, 2018).

Tabla1. Densidad aparente con relación a la textura del suelo

Textura	Densidad aparente
Fina (Arcilloso)	1.00 -1.30gr/cm ³
Media (Franco)	1.30 – 1,50 gr/cm ³
Gruesa (Arenoso)	1.50 – 1.70gr/cm ³

Fuente: Quispe (2018)

Según Contreras (2009), regularmente la densidad aparente de los suelos presenta variaciones entre 1,0 -1, 9gr/cm³, pero los suelos derivados de ceniza volcánicas, con un elevado contenido de minerales amorfos (alófana) y de materia orgánica, la densidad aparente puede ser excepcionalmente baja, entre 0,3 y 1,0 gr/cm³. La densidad aparente es una característica que sirve para calcular la porosidad total, la lámina de riego, el peso de la capa arable de una hectárea de terreno e indica el grado de compactación del suelo. En consecuencia la densidad aparente es un buen indicador de ciertas importantes características del suelo, a saber: porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración.

Por su parte, García (2015) evaluó el efecto de cuatro sistemas de labranza en propiedades físicas del suelo y desarrollo radicular del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W). Se empleó un experimento con un diseño de bloques completamente aleatorizado en parcelas divididas. La variable utilizada fue la densidad aparente y su relación con el desarrollo radicular y el rendimiento del cultivo. Los resultados arrojaron que el sistema de labranza tradicional presenta a 35 cm de profundidad de laboreo un nivel crítico de densidad aparente, lo que influye en la porosidad, el desarrollo radicular y el rendimiento del cultivo.

Porosidad

El espacio poroso es aquella parte del volumen que no está ocupada por partículas sólidas y que está constituido aproximadamente del 50% por materiales sólidos y el otro 50% por espacio poroso (FAO, 2016). Es decir, los nutrientes, el aire, los gases y el agua pueden circular libremente. Por otra parte está íntimamente relacionada con la estructura y el contenido de materia orgánica del suelo.

La porosidad total (PT) se obtiene mediante la relación entre la densidad aparente y densidad real a partir de la fórmula descrita por Forsythe (1980):

$$PT = \left[1 - \frac{Da}{Dr} \right] * 100$$

Donde:

PT= Porosidad total expresada en %

Da= Densidad aparente en gr/cm³ o kg/ m³

Dr= Densidad real en gr/cm³ o kg/ m³

Al respecto, Novillo et al. (2018) evaluaron el efecto de diferentes sistemas agrícolas sobre las propiedades físicas del suelo en la Provincia de Los Ríos, Ecuador. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, en los suelos de bosque nativo y monocultivos de maíz (30 años), cacao (50 años), pasto (4 años) y palma aceitera (26 años) en diferentes profundidades cada 0,10 m hasta los 0,6 m. Se

evaluó la porosidad total, porosidad de aireación entre otras variables. Se encontró que maíz, palma aceitera y pasto provocaron incrementos estadísticos significativos en la densidad aparente del suelo sin llegar a sobrepasar los niveles críticos de 1390 kg m^{-3} y no significativos en reducción de la porosidad total en la profundidad de 0,1-0,2 m, concluyeron que el suelo bajo cultivo de palma aceitera mostró mayores diferencias estadísticas debido a la textura, que afectó negativamente la densidad aparente del suelo, conductividad hidráulica, arcilla dispersa en agua, que en suma contribuyen a disminuir la estabilidad de agregados.

Infiltración del agua en los suelos

Es el proceso a través del cual el agua ingresa dentro del perfil del suelo en forma vertical (Delgadillo y Pérez, 2016). Asimismo, es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo.

La capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en milímetros por hora. Esta a su vez disminuye hasta alcanzar un valor casi constante a medida que la precipitación se prolonga, y es entonces cuando empieza el escurrimiento. Determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica, además determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas de riego.

Parámetros de la infiltración

I = Velocidad de infiltración. Es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo; expresándose generalmente en mm/h ó cm/hora.

- I_{ac} = Lámina acumulada. Es el volumen de agua infiltrado, expresado linealmente como una altura o profundidad de agua, en mm ó cm.
- I_b = Infiltración básica. Es la velocidad de infiltración cuya variación respecto al tiempo es muy lenta, tendiendo a constante e incluso constante.

- I_p = Infiltración promedio. Es el promedio de las velocidades de infiltración en un período de tiempo.

Para Meneses, Gotay, y Pérez (2017) la velocidad de infiltración del agua en el suelo es un aspecto de gran importancia para el diseño y explotación de los sistemas de riego en general y para el riego superficial en particular. La determinación de esta característica física del suelo permite conocer el tiempo necesario para aplicar la lámina de riego requerida, la lámina infiltrada acumulada, la intensidad con que debe aplicarse la lámina de riego, así como el gasto que debe emplearse una vez alcanzada la velocidad de infiltración estabilizada.

En la Tabla 2 se presentan valores referenciales para la interpretación de la velocidad de infiltración básica y la velocidad de infiltración en función de la textura del suelo respectivamente.

Tabla 2. Clasificación de la velocidad de infiltración básica

Clasificación	Valor de infiltración básica (mm/hr)
Muy lenta	< 2.5
Lenta	2.5 -15
Media	15-28
Alta	28-53
Muy alta	> 53

Fuente: (Coras 2000)

En efecto, la textura de un suelo influye directamente en la velocidad de infiltración e indirectamente a través de la estabilidad de sus agregados. Altas proporciones de limo y arena entre fina y muy fina generan agregados poco estables, con la consecuencia de su rotura y bloqueo de poros. Los suelos ligeros de textura gruesa generan poros de mayor tamaño que favorecen la entrada de agua al suelo. Por

el contrario, alta proporción de poros pequeños (micro poros) en suelos arcillosos, limita rápidamente la velocidad de infiltración (Coras, 2000).

Tabla 3. Clasificación de la velocidad de infiltración en función de la textura del suelo

Clasificación	Valor de infiltración (mm/hr)
Arenoso	25-255
Franco arenoso	13-76
Franco	80-200
Franco arcilloso	25-15
Arcilloso arenoso	3-50
Arcilloso	1-10

Fuente: (Coras 2000)

Entre los factores que afectan la capacidad de infiltración se encuentran: entrada superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, características del medio permeable, y características del fluido.

En este orden de ideas, Quispe (2018) determinó el efecto del subsolador sobre la velocidad de infiltración en un suelo franco arcilloso y franco arenoso. Se empleó un experimento con un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 factores con 6 tratamientos. La variable utilizada fue la velocidad de infiltración. Los resultados arrojaron que la mayor infiltración se da en el suelo franco arenoso a una profundidad de 70 cm con 12,32 mm/h y la menor a una profundidad de 00 cm con 8,18 mm/h., así mismo en el suelo franco arcilloso, se da en la profundidad de 70 cm con 10,78 mm/h, y la menor se da a 00 cm con 6,97 mm/h. Evidentemente, el efecto del subsolador con respecto a la velocidad de infiltración en un suelo Franco Arenoso

y Franco Arcilloso fue positivo en ambos casos, resaltando su efectividad en el suelo Franco Arenoso.

Contenido de materia orgánica

La materia orgánica como componente natural del suelo, corresponde a la mezcla heterogénea de residuos de flora y fauna en vías de descomposición, y materiales húmicos polimerizados (Seguel, García y Casanova, 2000); contribuye a una mejor agregación y estructuración del suelo, produciendo una reducción de la densidad aparente, mejorando la conductividad hidráulica, la infiltración y retención de agua (Castillo, Gauna, Dalurzo y Fernández, 2004).

Con referencia a la retención de agua la FAO (2008) indica que al incrementar la materia orgánica del suelo, este ejerce un efecto significativo sobre el manejo del agua. Por lo tanto, absorbe la humedad más rápido y la libera lentamente a lo largo de la estación, lo que minimiza el impacto de sequías cortas.

Por otra parte, forma parte del ciclo de los nutrientes del suelo, tales como nitrógeno, azufre y fósforo. Además proporciona un sustrato ideal para el desarrollo de los microorganismos. De manera que, es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes de las plantas, y el mantenimiento de la capacidad de retención de agua (FAO, 2017).

Al respecto Soto, Hernández, Luna, Ortiz, y García (2016) evaluaron el contenido de la materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/ nitrógeno. Se seleccionaron 25 parcelas agrícolas en el periodo de sequía, para obtener diferentes muestras de suelos. Utilizando el método simple aleatorio en zig-zag a una profundidad de 0-30 cm. Sus resultados señalaron que los suelos tuvieron un pH moderadamente ácido, bajo contenido de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total, además de una baja capacidad de intercambio catiónico. Por lo tanto,

concluyeron que los suelos agrícolas bajo estudio exhiben un lento proceso de descomposición de la materia orgánica y que es importante incorporar enmiendas orgánicas para incrementar la actividad microbiana y mejorar las condiciones de mineralización.

Afectación de las propiedades físicas del suelo por la labranza

Como se ha discutido anteriormente, los sistemas de mecanización con el uso de implementos y maquinarias diseñadas para casi todas las labores en la producción agrícola, ha generado consecuencias favorables y desfavorables. Si bien es cierto, que la intensificación de la labranza convencional ha permitido el incremento de superficies de siembra e incidido en una alta eficiencia en los procesos de germinación de semilla, desarrollo y rendimiento del cultivo así como en el mejoramiento de propiedades del suelo en la rizósfera; no es menos cierto que a la luz de los conocimientos actuales, su uso prolongado bajo la misma modalidad y en condiciones desfavorable ha afectado negativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Gómez-Calderón et al. 2018).

Los efectos son múltiples y asociados a procesos integrados por varias propiedades del suelo, entre estos, el deterioro de su estructura debido al excesivo laboreo con equipos e implementos pesados. La desagregación estructural, la densificación del suelo y la compactación conllevan a un impacto mayor en la macroporosidad del suelo, cuya función es regular el movimiento del agua infiltrada a través del perfil, favorecer el intercambio gaseoso y propiciar un espacio adecuado para el crecimiento de las raíces (Lal, 2014). De igual modo, la biodiversidad del suelo se ve afectada por los daños mecánicos y funcionales que ocasionan los implementos a las comunidades edáficas que ejercen un papel fundamental en la

nutrición de las plantas y en el mejoramiento de las características de los suelos, y demás servicios bioecosistémicos.

La labranza mecanizada juega un papel importante en la degradación del suelo, de allí la necesidad de generar experiencias y conocimientos sobre el impacto de la labranza en las propiedades de los suelos, que permitan la selección de métodos, equipos e implementos adecuados para cada tipo de suelo y cultivo que produzcan beneficios ambientales al ecosistema agrícola y económicos satisfactorios a los productores.

Volverás, Amézquita y Campo (2016) determinaron los cambios de algunos indicadores de calidad física en suelos en la zona cerealera fría de Nariño, Colombia, aplicando un diseño experimental de ocho tratamientos por tres repeticiones con diseño de bloques al azar. Los resultados arrojaron que el uso intensivo de la labranza genera cambios negativos importantes en los suelos, relacionados con la pérdida de volumen, porosidad total y composición textural, lo que conduce a problemas en el drenaje, en la transmisión de agua y en la disminución de la conductividad hídrica.

Dentro de este orden de ideas, Sifuentes et al. (2018) evaluaron el efecto de la siembra directa (SD) en las propiedades físicas del suelo cultivado con maíz en tres ciclos agrícolas, donde se establecieron los tratamientos 1) SD; y 2) labranza convencional de la región (LC) en 0.5 ha cada uno. Las variables evaluadas fueron densidad aparente (D_a) y porosidad total (E). Los resultados mostraron que la porosidad total tuvo un incremento de 10% en SD en comparación con la LC y en la D_a no se encontró respuesta en los tres ciclos agrícolas. El sistema de producción de siembra directa en los tres ciclos agrícolas evaluados, contribuye al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.

En correspondencia con lo anterior, García et al. (2018) evaluaron el impacto de tres sistemas de labranza sobre propiedades físicas en un suelo Inceptisol. Se empleó un experimento con un diseño completamente al azar con tres tratamientos y cinco repeticiones para 15 unidades experimentales, evaluados en dos épocas: M1: antes de la preparación y M2: después de dos meses de siembra de maíz. Las variables utilizadas fueron: T1: Labranza reducida (desbrozadora, un pase de cincel vibratorio, un pase de rastra y siembra), T2: siembra directa y T3: labranza de conservación (desbrozadora, un pase de cincel vibratorio, siembra con 30% de cobertura) sobre la densidad aparente (D_a) y la porosidad (η). Los resultados arrojaron que el T3 alcanzó una D_a más baja en ambas épocas ($1,27\text{g/cm}^3$). La porosidad fue mayor con el T3 sin diferencias entre muestreos.

Como se aprecia en los resultados de la literatura existente sobre este tema, las respuestas son diversas, unas son similares y otras difieren aún para los mismos métodos de labranza, lo cual indica la necesidad de continuar indagando sobre los sistemas de labranza apropiados, de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas, el cultivo y el sistema productivo a utilizar que mantenga el equilibrio del agroecosistema.

En el país, se utilizan mayoritariamente los sistemas de labranza convencional en las regiones cerealeras que han desmejorado la calidad del suelo, su estructura y reducido la infiltración, el carbono orgánico y la biomasa microbiana del suelo por décadas (Mendoza et al. 2015), lo cual ha generado disminución y pérdidas significativas del rendimiento en los cultivos. Entre los problemas detectados se encuentran la compactación del suelo, incremento de la escorrentía, erosión y pérdida de la materia orgánica. Este problema afecta a muchos productores de los estados Barinas y Portuguesa, ya que la productividad sigue siendo baja con relación al potencial existente en el material genético utilizado.

Afectación de la materia orgánica del suelo sobre las propiedades físicas del suelo

Como se ha discutido anteriormente, los sistemas de mecanización con el uso de implementos y maquinarias diseñadas para casi todas las labores en la producción agrícola, ha generado consecuencias favorables y desfavorables. Si bien es cierto, que la intensificación de la labranza convencional ha permitido el incremento de superficies de siembra e incidido en una alta eficiencia en los procesos de germinación de semilla, desarrollo y rendimiento del cultivo así como en el mejoramiento de propiedades del suelo en la rizósfera; no es menos cierto que a la luz de los conocimientos actuales, su uso prolongado bajo la misma modalidad y en condiciones desfavorable ha afectado negativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Gómez-Calderón *et al.* 2018).

Los efectos son múltiples y asociados a procesos integrados por varias propiedades del suelo, entre estos, el deterioro de su estructura debido al excesivo laboreo con equipos e implementos pesados. La desagregación estructural, la densificación del suelo y la compactación conllevan a un impacto mayor en la macroporosidad del suelo, cuya función es regular el movimiento del agua infiltrada a través del perfil, favorecer el intercambio gaseoso y propiciar un espacio adecuado para el crecimiento de las raíces (Lal, 2014). De igual modo, la biodiversidad del suelo se ve afectada por los daños mecánicos y funcionales que ocasionan los implementos a las comunidades edáficas que ejercen un papel fundamental en la nutrición de las plantas y en el mejoramiento de las características de los suelos, y demás servicios bioecosistémicos.

La labranza mecanizada juega un papel importante en la degradación del suelo, de allí la necesidad de generar experiencias y conocimientos sobre el impacto de la labranza en las propiedades de los suelos, que permitan la selección de métodos, equipos e implementos adecuados para cada tipo de suelo y cultivo que produzcan

beneficios ambientales al ecosistema agrícola y económicos satisfactorios a los productores.

Velázquez, Encina, Enciso, Villalba y Oroa (2018) relacionaron la densidad aparente (DAP) con el contenido de Materia orgánica (MO) en suelos bajo distintos usos. Las muestras fueron extraídas del horizonte A (0-12 cm) de los perfiles del suelo, tomadas en cuatro sistemas de uso diferentes: bosque regenerado, silvopastoril (*Brachiaria* sp.+ *Eucaliptus grandis*), plantación de tacuara (*Guadua Angustifolia*) y pastura natural. Para cada uso fueron extraídas 3 muestras, totalizando 12 muestras. Las variables evaluadas fueron la DAP y MO por la metodología de Walkley- Black 1947 y DAP, por el método del cilindro. Los resultados evidenciaron que el suelo bajo pastura natural presentó mayor contenido de MO (3,44 %) y una menor DAP (1,29 g dm⁻³) en relación a los demás usos. Por lo que se puede evidenciar la importancia de la M.O. como mejorador de la DAP del suelo.

Acosta y Galarraga (2011) evaluaron el efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y forma de aplicación de nitrógeno. Se empleó un esquema bifactorial AXB +1 (2x5 +1) dispuestos en bloques completos al azar. Las variables evaluadas fueron: materia orgánica, N, P, K, S y B, meso y macro fauna edáfica, humedad del suelo, altura de la planta, diámetro del tallo, altura de la inserción de la primera mazorca, días a la floración masculina, días a la madurez fisiológica total y rendimiento del cultivo. Sus resultados mostraron que la acumulación de la materia orgánica en la superficie del suelo, por efecto de la siembra directa se incrementó y permitió una mayor conservación de la humedad, adicionalmente contribuyó al aumento de la meso y macro fauna del suelo.

Rendimiento de la materia verde del cultivo maíz

En zonas de importancia económica de producción de leche en sistemas intensivos, cada vez es más necesaria la alimentación complementaria con especies que aseguren una adecuada calidad nutricional y de alta eficiencia en producción de biomasa verde. En este contexto, el cultivo de maíz surge como una alternativa promisorio al cumplir con las características señaladas, tal y como lo refieren Fasio et al. (2018) como son su alto valor nutritivo; su alta tasa de crecimiento ya que es una especie tipo C4, lo que le permite producir un gran volumen de forraje en un período de tiempo relativamente corto y que puede sembrarse en un rango amplio de fechas si se complementa con riego o se aprovecha la humedad del suelo remanente después del periodo de lluvia (norte verano).

A lo anterior, se suman beneficios asociados al sistema radical y a la distribución de raíces y a los exudados que se producen en ellas favoreciendo la formación de agregados y por tanto una mejor estructuración del suelo (Agro, 2020). No obstante, esas ventajas se manifiestan en función a las condiciones agroclimáticas de la zona, y al manejo del cultivo, particularmente a los sistemas de mecanización del suelo.

En consecuencia, el rendimiento de materia verde en la mayoría de los cultivos es una función del manejo de suelos, del estado nutricional del suelo y de la planta, del manejo del cultivo, el clima y la dinámica hídrica del agua en el suelo, entre otros factores, tal y como lo indica Izquierdo (2012), quien enfatiza que en el cultivo de maíz la materia verde es una función de los distintos factores que inciden en la siembra y desarrollo del cultivo, y señala un valor aproximado a 80.0000 kg/ha de forraje. Mientras que López (2011) en un estudio sobre el potencial de producción de ocho híbridos comerciales de maíz en diferentes períodos de siembra en la región Lagunera de Coahuila en México encontró menores rendimientos de forraje verde con el híbrido P4082w, bajo un sistema convencional de laboreo. Así mismo, Tadeo et al. (2012) evaluaron en híbridos comerciales la producción de forraje en rendimiento de

materia verde bajo un sistema convencional de labranza, obtuvo valores de 88.500 kg/ha y 73.500 kg/ha, para los híbridos que presentaron mejor comportamiento.

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en la hacienda La Preferida C.A., ubicada en la carretera nacional Guanare-Ospino, Troncal 5, sector Suruguapo municipio Guanare estado Portuguesa. Coordenadas geográficas 9° 05' 25" N y 69° 40' 11" W a 144 msnm, como se muestra en la Figura 2. Las condiciones climáticas son típicas de un Bosque Seco Tropical, según la clasificación de Holdridge (1978). Posicionalmente se ubica en las estribaciones del piedemonte, la capacidad de uso de la tierra corresponde a la clase VI, sub clase VIes que representa tierras sujetas a erosión con deficiencias de suelo y topografía (Strebin, 1993).

De acuerdo con los valores mensuales de precipitación registrados en tres estaciones climatológicas (Campamento Las Marías, Hacienda San Rafael y Mesa de Cavacas) próximas a la zona de estudio durante el lapso 1978-2010, se definen dos estaciones: un período lluvioso (Abril – octubre) y un período poco lluvioso o seco (noviembre- marzo), obteniéndose en los meses de junio y de julio las medias más significativas para la zona de diagnóstico. La temperatura máxima, media, y mínima de la zona fluctúan en 31,7, 26,4 y 22,2 °C, respectivamente. Mientras que la humedad relativa es de 72% (Ministerio del Poder Popular del Ambiente [M PPA] (2012).

En general los suelos del área de estudio Los suelos pertenecen al orden Inceptisol, suborden Usteps, presentan textura franco-arcillosa; en su parte más baja presentan

acumulación de agua ocasional en el periodo lluvioso, influenciado por la textura fina y por la posición topográfica que corresponde al área del ensayo (Valbuena, N. 2017. Com. Personal). Las características químicas corresponden a suelos de baja fertilidad, de reacción ácida, de moderado a bajo contenido de materia orgánica y bases cambiables de moderada a baja capacidad de intercambio catiónico (Strebin, 1993). En el área predomina el cultivo de soya, maíz de grano y forraje, con técnicas convencionales de producción y alta intensidad de mecanización que consiste en 1 pase de arado y 6 pases de rastra. En los últimos dos años, el productor por razones de costo redujo la mecanización de 6 a 3 pases de rastra y surge la necesidad de indagar el efecto sobre el impacto de la reducción de la mecanización en el suelo más allá del solo beneficio económico.

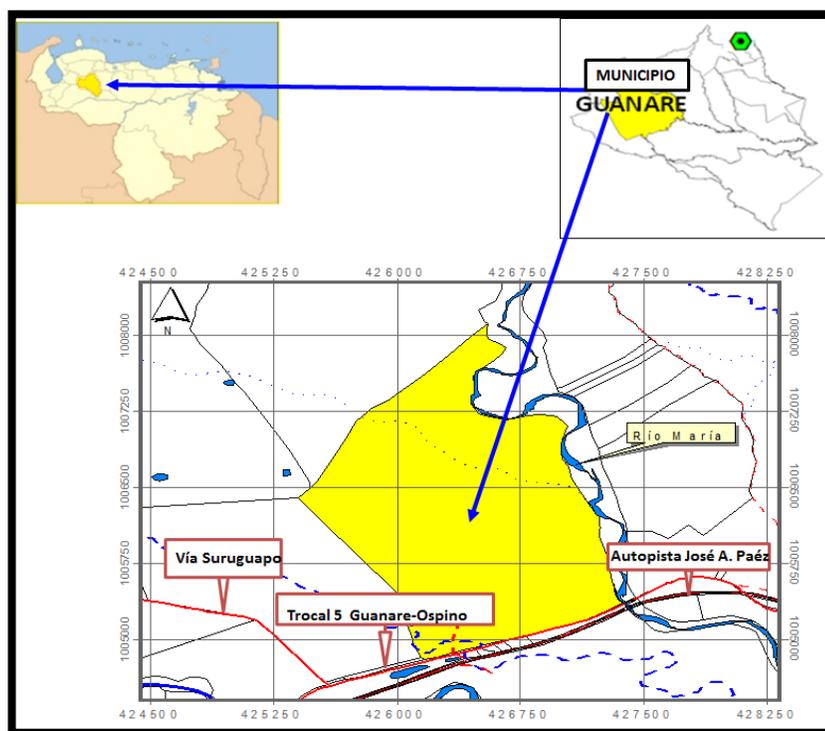


Figura 2. Localización geográfica del área en estudio

Fuente: Dirección de Ambiente y Ordenación del Territorio del Estado Portuguesa, 2018

Diseño experimental

Para cumplir con los objetivos de la investigación, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres (3) tratamientos, tres repeticiones (3) y dos subparcelas (a y b) por tratamiento para un total de 18 unidades experimentales, como se observa en la Figura 3. Se evaluaron tres sistemas de labranza reducida que corresponden a los siguientes tratamientos: T0 = Tres pases de rastra (TPR) como Testigo; T1= Un pase de rastra (UPR); T2= Un pase de subsolador, un pase de rastra (UPS+UPR) para todos los tratamientos se utilizó un equipo de siembra directa. Las variables contenido de materia orgánica, densidad aparente, infiltración, espacio poroso y rendimiento de materia verdes se analizaron para cada labranza. Se aplicó la comparación de media de Tukey al 5%.

El modelo utilizado de diseño de bloques al azar con submuestras se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \xi_{ij} + \lambda_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera de la variable dependiente

μ = Efecto general de la media

τ_i = Efecto de tratamiento

β_j = Efecto de Bloque

ξ_{ij} = Error experimental

λ_{ijk} = Error de muestreo

La siembra de maíz para silaje en los tres sistemas se realizó entre los meses agosto y octubre de 2017 con el híbrido P4082W, con una densidad de siembra de 85 cm entre hilos y una distancia entre plantas de 15,5cm, para una población de 75901 plantas/ha, a una profundidad entre 5-6 cm. Las dosis de fertilización, con base en el análisis químico del suelo, se aplicó 285 kg/ha de fórmula 10-20-20 mezclada con 15-15-15 al momento de la siembra (200kg/ha fórmula 10-20-20 y 85 kg/ha de 15-15-15). Tomando como referencias el contenido de nutrientes del suelo de acuerdo con el análisis de rutina realizado. También se adicionó Vigo como suplidor de micro

elementos a razón de 25 kg/ha, al momento de la formación de la sexta hoja (30 días de la planta) y se reabonó con 100 kg/ha fórmula 10-20-20 y 250 kg de urea. En el control de malezas se aplicó Prowl y Triazol antes de la siembra en dosis de 3 l / ha cada uno. Para control de cogollero: Mercamil en dosis de 2 l/ha y Match 250 cc/ha a los 40 días del desarrollo del cultivo.

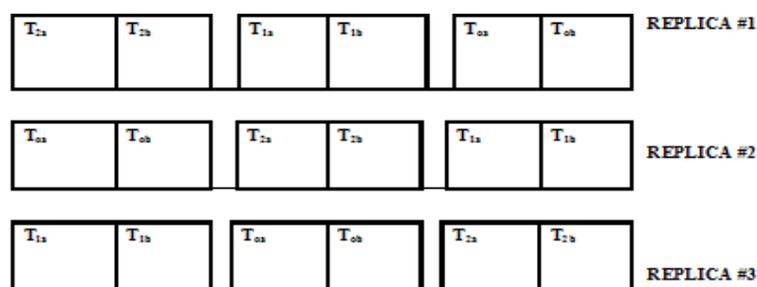


Figura 3. División del lote en bloques en subparcela

Variables evaluadas

Características físicas y químicas del suelo

Se tomaron 20 submuestras (0-20 cm profundidad) en un lote seleccionado para el estudio. El muestreo se efectuó siguiendo un esquema de zig-zag, usando como criterio de diferenciación el color y la textura del suelo en campo. Se utilizó un barreno Riverside Eijkelkamp (cuchara de \varnothing 50x200mm). Las muestras se llevaron al laboratorio de la UNELLEZ-Guanare para realizar análisis de rutina reforzada, según el protocolo utilizado en este laboratorio. Las características químicas del suelo se determinaron mediante los siguientes métodos: pH(potenciómetro), conductividad eléctrica por el método conductimétrico, materia orgánica (Walkey y Black, 1934), fósforo (Olsen,Cole y Watanabe, 1954), Calcio y Magnesio por absorción atómica (Van, 1980), Potasio por fotometría, de llama (AOAC ,1990), Textura a través de Bouyoucus (Bouyoucus ,1962), separados en arcilla, limo y arena.

A continuación se muestra en la Tabla 4 los métodos y variables evaluadas en estudio.

Tabla 4. Métodos utilizados para medir las variables químicas y físicas.

Variables	Métodos	Unidades de medición
Materia orgánica	Walkey y Black, (1934)	%
Densidad aparente	Cilindro de volumen conocido (Uhland) (Gomez,2013)	gr/cm ³
Espacio Poroso	Se obtendrá mediante la relación entre la densidad aparente y la densidad real a partir de la fórmula descrita por Forsythe (1980)	%
Infiltración básica	Müntz de infiltrómetro de doble anillo (Forero, 2000)	cm/h

Contenido de materia orgánica (MO)

Para determinar el contenido de MO se recolectaron muestras de suelo en forma de zig-zag en tres puntos de cada subparcela a una profundidad de 30 cm antes de la siembra (AS), a los 30 días después de la siembra (DDS) y a los 70 días después de la siembra (DDS), las muestras recolectadas se homogenizaron y se tomó una muestra compuesta por subparcelas, la determinación del contenido de MO se efectuó mediante el método de Walkey-Black (1934).

Densidad aparente

Se recolectó una muestra de suelo por subparcela en cada tratamiento antes de la siembra (AS), a los 30 días después de la siembra (DDS) y a los 70 días después de la siembra (DDS), se determinó la densidad aparente mediante el método del cilindro de volumen conocido (Cilindro Uhland)(Gómez 2013), en cada uno de éstos se tomó una muestra de suelo con el cilindro mencionado, el cual se insertó en el suelo y se extrajo cuidadosamente un monolito de suelo. Las muestras se colocaron en una bolsa plástica y se pesó el suelo húmedo, posteriormente se llevó a estufa por 24 h a 105

°C; para obtener la masa de suelo seco; a fin de determinar la densidad aparente del suelo.

La densidad aparente se obtuvo mediante la relación entre el peso del suelo seco 105° C entre el volumen

Volumen del cilindro = $\pi \cdot r^2 \cdot h$

Da = Peso del suelo seco 105° C / volumen del cilindro

Infiltración

Se determinó mediante el método de Muntz de infiltrómetro de doble anillo (Forero, 2000), por subparcela en cada tratamiento antes de la siembra (AS), a los 30 días después de la siembra (DDS) y a los 70 días después de la siembra (DDS), el cual consistió en incrustar concéntricamente en el suelo dos anillos de diámetros distintos a una profundidad de 15 a 20 cm, formando una corona circular. El anillo interior debe tener una regla para realizar las lecturas correspondientes. Se colocó un plástico para cubrir las paredes internas y el fondo del anillo interior, luego se llenó con agua el espacio entre anillos y el anillo interior, e inmediatamente después de retirar el plástico, se comenzó la medición tomando una lectura inicial y continúa con lecturas a intervalos de tiempo de 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50 y 60 minutos, impidiendo que el nivel del agua este por debajo de 5 cm. Se registró la información de llenado antes y después para no perder la información de la lámina infiltrada y así simular correctamente la infiltración en forma vertical descendente.

Espacio poroso

La porosidad total (PT) se obtuvo mediante la relación entre la densidad aparente y densidad real a partir de la fórmula descrita por Forsythe (1980):

$$PT = \left[1 - \frac{Da}{Dr} \right] * 100$$

Donde:

PT= Porosidad total expresada en %

Da= Densidad aparente en gr/cm^3 o kg/ m^3

Dr= Densidad real en gr/cm^3 o kg/ m^3

Manejo del cultivo

Para determinar el rendimiento de materia verde por ha, a los 70 DDS se seleccionaron tres plantas por sub parcelas, a una altura de 7 a 10 cm con respecto al nivel del suelo, se cuantificó la cantidad de forraje por unidad de área expresada en kg/ m^2 a través de la técnica de la cuadrícula descrita por Tejos (1997) , con un marco metálico de 1 m x 1 m para posteriormente pesarlas y obtener un peso promedio por planta, que se multiplicó por la densidad de plantas por hectárea para obtener el rendimiento en t ha^{-1} de materia verde para cada tratamiento.

Los resultados se sometieron al análisis de la varianza y los valores o parámetros con diferencias apreciables, se analizaron mediante la prueba de Tukey al 5 %.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de materia orgánica (MO)

El contenido de MO del suelo en los tres sistemas de labranza no fue significativamente diferente (Figura 4); sin embargo, se observa un ligero incremento en T2. Es probable que el tiempo de aplicación de los tratamientos no sea suficiente para manifestar cambios importantes en esta variable, tal y como lo refiere Báez y Aguirre (2011), al no encontrar en el corto plazo un efecto temporal ni espacial importante sobre la acumulación de la materia orgánica en ninguno de los sitios experimentales bajo diferentes sistemas de labranza (conservación y convencional). Sin embargo, varios estudios han reportado que la reducción de la intensidad de la labranza puede disminuir o prevenir la pérdida de la MO (Ramírez 2006; Espinoza 2010; Salamanca y Amézquita 2015; Sifuentes et al. 2018).

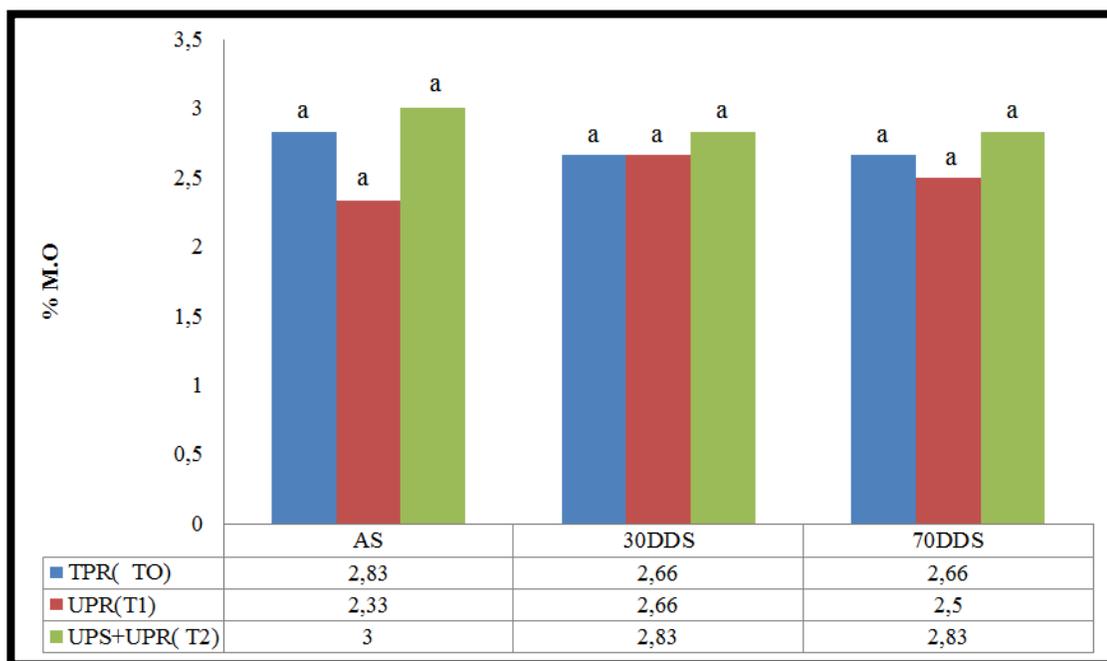


Figura 4. Porcentaje de materia orgánica con diferentes sistemas de labranza y períodos evaluados.

TPR: Tres pases de rastra; UPR: Un pase de rastra; UPS+UPR: Un pase de subsolador+ un pase de rastra; AS: antes de la siembra; DDS: después de la siembra.

Densidad aparente (Da)

Los sistemas de labranza (Figura 5) tampoco mostraron cambios importantes en la variable Da, lo cual coincide con los hallazgos reportados por Báez y Aguirre (2011) quienes estudiaron el efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades de un suelo en dos ciclos sucesivos de producción de maíz, y no encontraron variaciones en el comportamiento de esta variable. Sin embargo, se observa una ligera variación entre períodos en T2 que va de 1,28g/cm³ AS a 1,09 g/cm³ DDS, muy por debajo de los niveles de densidad críticos para el crecimiento vegetativo, y similar a lo reportado por García et al. (2018) quienes evaluaron el impacto de tres sistemas de labranza en dos épocas (antes de la preparación y dos meses después de la siembra de maíz) y obtuvieron una disminución significativa en labranza reducida entre épocas, pasando de 1,52g/ cm³ a 1,28g/ cm³. Contrariamente García (2015), encontró datos superiores a los del presente estudio, a 15 cm de profundidad (1,5g/cm³) de laboreo en labranza tradicional, en relación con los sistemas de labranza mínima y cero, pero a los 35cm de profundidad pasa al nivel crítico en este mismo sistema de labranza (1,8g/cm³).

López et al. (2010) en un ensayo comparativo entre labranza de conservación y convencional en Yaracuy, no obtuvieron diferencias significativas en Da, después de un año de estudio. Gómez-Calderón et al. (2018) señalaron que la labranza reducida y la cero labranza constituyen estrategias viables para minimizar el impacto de la labranza convencional; sin embargo, a pesar del uso cada vez más frecuente de sistemas de labranza reducida o de siembra directa, los efectos sobre la estructura del suelo (compactación, sellado) siguen impactando la disminución de la productividad.

Las evidencias en Da detectadas en este estudio no muestran cambios significativos entre los sistemas evaluados ni entre períodos. Solo se manifiestan ligeras tendencias no concluyentes. Con relación a los efectos de los sistemas de labranza sobre la densidad aparente los reportes en la literatura señalan resultados contradictorios (Cachón, 2011). Estudios encontrados muestran un aumento de la densidad aparente bajo siembra directa en relación a la labranza convencional (Cadena, Egas, Ruiz, Mosquera y Benavides, 2012) o con laboreo reducido (Mc Vay et al. 2006), al igual que diferentes sistemas de manejo con labranzas limitadas pueden producir una densificación de los estratos superiores del suelo, comparados con los sistemas intensivos de labranza (Gómez- Calderón et al. 2018). Por lo contrario, en otros estudios, los efectos de la labranza sobre la densidad aparente y la porosidad son inconsistentes (García et al. 2018).

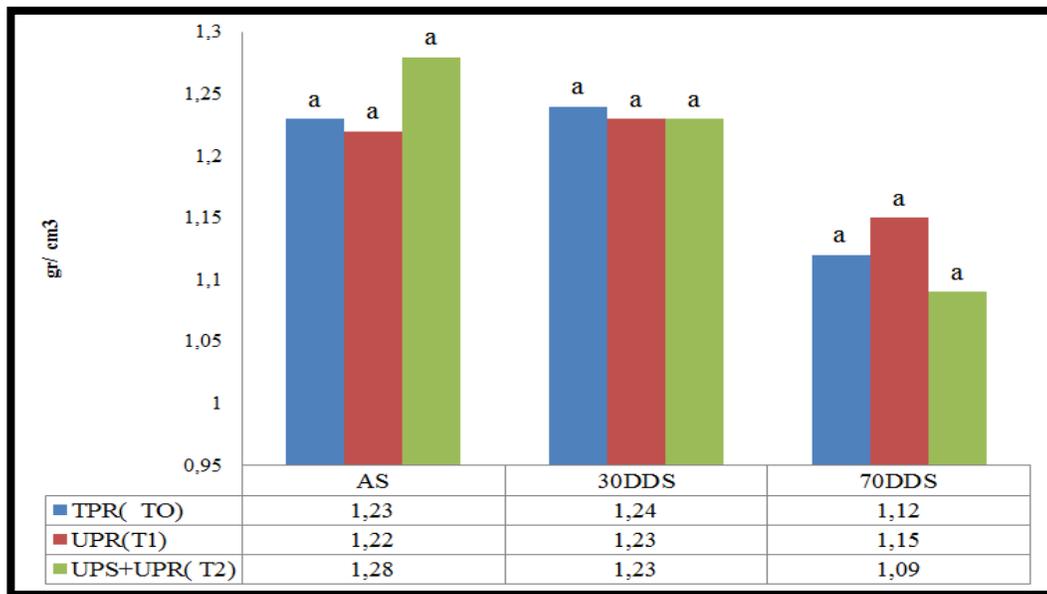


Figura 5. Determinación de densidad aparente con diferentes sistemas de labranza y períodos evaluados

TPR: Tres pases de rastra; UPR: Un pase de rastra; UPS+UPR: Un pase de subsolador+ un pase de rastra; AS: antes de la siembra; DDS: después de la siembra.

Espacio Poroso total (EPT)

El principal impacto de la labranza convencional en el suelo ocurre en la porosidad, como consecuencia de la desestructuración del suelo, que modifica directamente el espacio poroso y por tanto, los procesos asociados a este como son las interconexiones para un adecuado movimiento del agua infiltrada a través del perfil, el intercambio gaseoso así como los procesos biológicos por cambios en las relaciones de humedad y temperatura del suelo (Gómez-Calderón 2018 y Hernández, 2008). Dada estas repercusiones, la porosidad es un indicador relevante para evaluar el impacto de la labranza en sus distintas modalidades.

Las evidencias encontradas en este estudio sugieren un mejoramiento significativo ($P < 0,05$) de la porosidad en T2 (Figura 6). La respuesta puede estar correlacionada con la menor disturbación al suelo por la reducción del número de pases de rastra, asociada al efecto del subsolador como mejorador de la macroporosidad del suelo manifestándose en este período, lo cual coincide con los hallazgos de García et al. (2018) en un experimento similar donde determinaron el efecto de labranza reducida, siembra directa y de conservación en dos épocas (antes de la preparación y a los 2 meses de la siembra) en el que la labranza reducida tuvo una variación desde 42,5% a 52,1% antes de la siembra; mientras que la labranza de conservación no evidenció cambios y se mantuvo en los rangos de 51,6% a 52,0% después de dos meses de siembra. Estos resultados coinciden con Reyes (2019) en el sistema de labranza mínima a una profundidad de 0-30 cm cuya porosidad en promedio varió de 29,39 a 42,33% en relación al antes y después del riego, que significó un incremento de casi 13 %. Igualmente, Martínez-Gamiño, Osuna y Ramírez (2020), encontraron en un ensayo comparativo de labranza cero+33 % de cobertura (LC+33 %C) de largo plazo (22 años) y labranza convencional uso de arado + rastra (B+R) que la porosidad total en todas las profundidades evaluadas fue superior en el tratamiento LC+33%C en relación al B+R. Los autores atribuyen la respuesta a la estabilidad de la estructura

del suelo no disturbada en este sistema y por tanto favoreciendo la agregación de las partículas, así como a los poros formados producto de la descomposición de las raíces y la pedoturbación de la edafofauna. Contrario a lo ocurrido en B+R, el suelo inició de nuevo la reconstrucción del espacio poroso a partir de la agregación de las partículas de suelo y la presencia de raíces después de haber sido roturado, lo cual le confiere inestabilidad estructural.

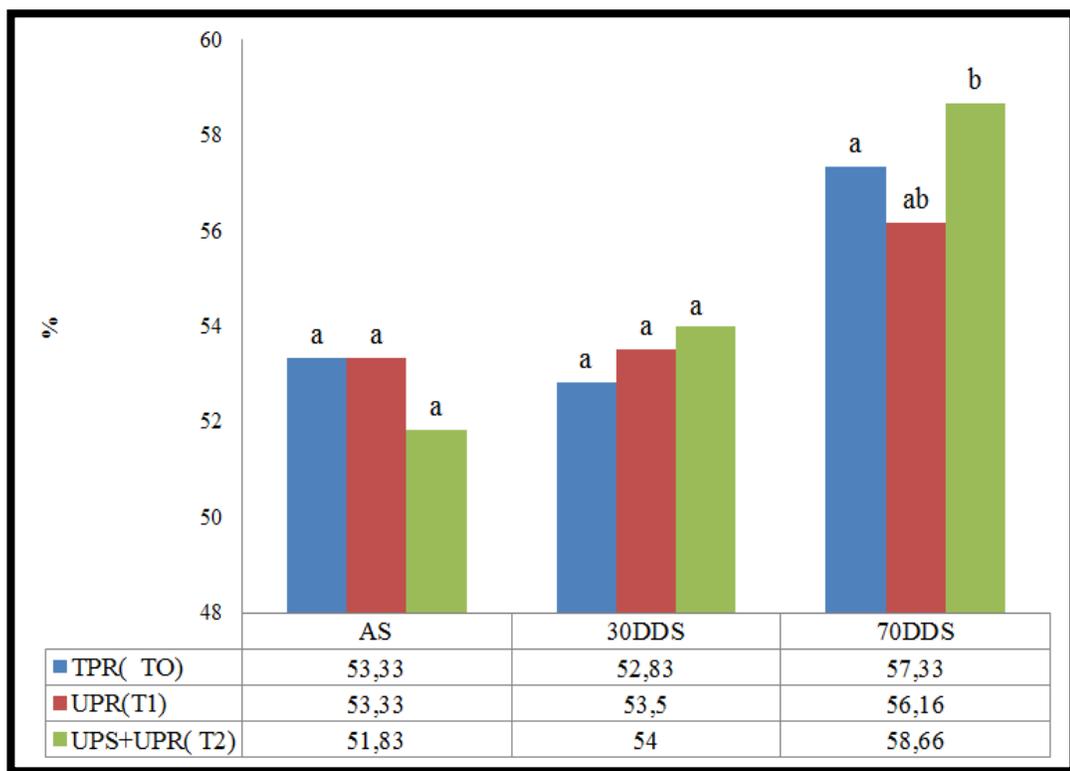


Figura 6. Porcentaje Espacio Poroso total con diferentes sistemas de labranza y períodos evaluados

Promedios con literal diferente en una misma columna presentaron diferencias (Tukey, $P < 0,05$)

TPR: Tres pases de rastra; UPR: Un pase de rastra; UPS+UPR: Un pase de subsolador+ un pase de rastra;
AS: antes de la siembra; DDS: después de la siembra.

Infiltración básica

El tratamiento T0 (Figura 7) mostró diferencias importantes ($P < 0,05$) en la velocidad de infiltración básica (I_b) en comparación con T1 y T2 antes de la siembra en el periodo de evaluación. Esto se explica por la intensidad de roturación a nivel superficial, que rompe los macro agregados del suelo y facilita el movimiento del agua dentro del suelo debido al mayor tamaño de los poros en superficie y a la continuidad de los poros de transmisión. El efecto se mantuvo similar hasta el final del ensayo, con una ligera tendencia a disminuir. Por el contrario, T1 y T2 en el mismo periodo se comportaron igual pero manifestaron variaciones significativas a los 70 DDS; sin embargo, al final del periodo los tres tratamientos tuvieron un comportamiento similar, con un ligero aumento en T2. Estos resultados difieren con los de Herrera et al. (2017) quienes determinaron la infiltración básica en dos sistemas de labranza (convencional y conservación), los datos de infiltración básica fueron menores (0,437 mm/h) en labranza convencional que los datos obtenidos en labranza de conservación (0,563 mm/h).

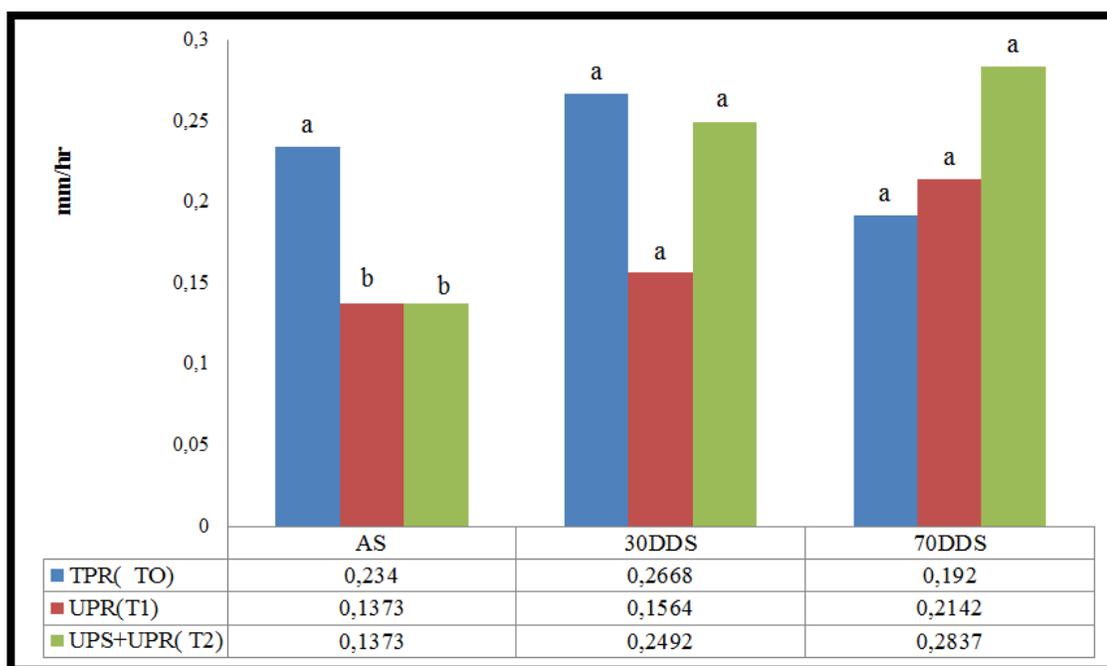


Figura 7. Velocidad de infiltración básica con diferentes sistemas de labranza y períodos evaluados

Promedios con literal diferente en una misma columna presentaron diferencias (Tukey, $P < 0,05$)

TPR: Tres pases de rastra; UPR: Un pase de rastra ; UPS+UPR: Un pase de subsolador+ un pase de rastra ; AS: antes de la siembra; DDS: después de la siembra.

Rendimiento de la materia verde (RMV) por hectárea de maíz con diferentes sistemas de labranza reducida

Los sistemas de labranza afectaron ($P < 0,05$) el rendimiento de la materia verde del cultivo, se evidencian incrementos (Figura 8) en relación inversa a la intensidad de laboreo. La mayor producción en materia verde correspondió a T2 (90 t/ha), en concordancia con los evidencias aportadas por Perales et al. (2020), cuyos rendimientos en materia verde de forraje en maíz fueron superiores en el sistema de labranza de conservación con mínimo laboreo en comparación con la labranza convencional, alcanzando valores de 39,150 t/ha y 34,290 t/ha respectivamente, lo cual se tradujo en una mejor rentabilidad del cultivo.

En la literatura revisada se observan divergencias en cuanto al rendimiento en materia verde del cultivo maíz bajo sistemas convencionales de labranza, aún con el mismo material genético, tal y como lo acota López (2011) en un ensayo de evaluación de varios híbridos bajo labranza convencional; entre estos, el mismo utilizado en la presente investigación, cuyo rendimiento fue de 64,73 t/ha superior al encontrado en la presente investigación. Otros estudios, como los de Tadeo-Robledo et al. (2012) evaluaron en híbridos comerciales en la producción de forraje en rendimiento de materia verde bajo un sistema convencional de labranza, obteniendo valores de 88,5 t/ha y 73,5 t/ha, para los híbridos que presentaron mejor comportamiento.

Aun cuando las variables del suelo en general no mostraron respuestas significativas en los tratamientos, con excepción del EPT, las pequeñas tendencias encontradas en T2 pudieron haber influido en el rendimiento de materia verde, que permitió diferenciar el comportamiento de esta variable. Al parecer la reducción del laboreo favoreció la producción de materia verde. No obstante, es necesario continuar estudiando en un mayor plazo esta respuesta para obtener evidencias más concluyentes sobre esta presunción.

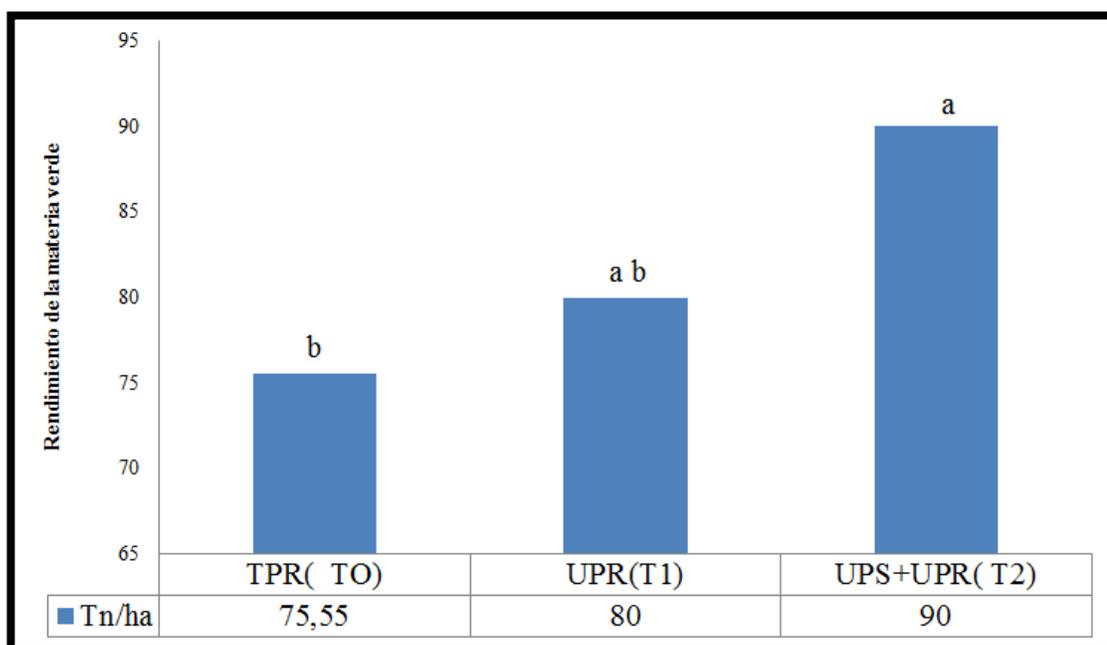


Figura 8. Rendimiento de la materia verde de maíz por hectárea

Promedios con literal diferente en una misma columna presentaron diferencias (Tukey, $P < 0,05$)

TPR: Tres pases de rastra; UPR: Un pase de rastra; UPS+UPR: Un pase de subsolador+ un pase de rastra; AS: antes de la siembra; DDS: después de la siembra.

Relación entre el rendimiento y las propiedades del suelo con los diferentes sistemas de labranza

En la Figura 9 se muestra la respuesta de cada variable del suelo estudiada con relación a los sistemas de labranza aplicados y el rendimiento al final del periodo de evaluación; aunque los valores detectados no muestran significancia que facilite diferenciar estadísticamente un sistema del otro, se observa una ligera tendencia en el sistema T2 con un mejor comportamiento en todas las variables al final del período de evaluación.

De acuerdo con los resultados encontrados, las repuestas de las variables evaluadas pudieran estar afectadas por el corto periodo de la investigación tal y como lo señalan Ceballos et al. 2010; Acosta-Martínez et al. 2010 y García et al. 2018, quienes coinciden en que los efectos de diferentes tipos de labranza sobre las propiedades físicas del suelo no son apreciables en periodos cortos (un ciclo productivo).

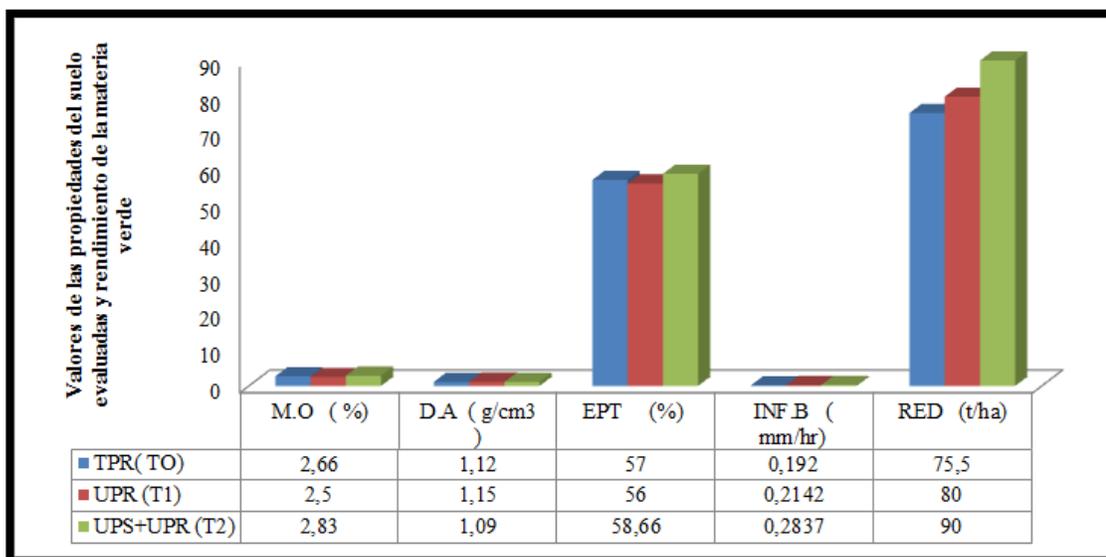


Figura 9. Relación entre el rendimiento y las propiedades del suelo evaluadas con diferentes sistemas de labranza

TPR: Tres pases de rastra; UPR: Un pase de rastra; UPS+UPR: Un pase de subsolador+ un pase de rastra; AS: antes de la siembra; DDS: después de la siembra. D.A: densidad aparente(gr/cm^3); EPT: espacio poroso total(%); INF.B: infiltración básica (mm/h); RED: RENDIMIENTO (tn/ha)

CONCLUSIONES

La densidad aparente, espacio poroso total, materia orgánica y rendimiento de materia verde no mostraron significativamente mejoras en las propiedades evaluadas. Con excepción de la infiltración que solo mostró cambios importantes al final del periodo para los sistemas T1 y T2. No obstante, T2 fue ligeramente superior a T0 y T1.

En general ninguno de los tratamientos se diferenció estadísticamente, no obstante, es pertinente señalar que T2 mostró un mejor comportamiento en todas las variables, principalmente en el rendimiento en el cual hubo incrementos de 15 y 10 t/ha comparativamente con respecto a T0 y T1. De acuerdo con estos resultados, la respuesta de las tres modalidades de labranza reducida evaluadas en este estudio presentó inconsistencia y limitada influencia en algunas de las propiedades del suelo, donde solo se apreciaron tendencias favorables del sistema combinado (T2) de un pase de rastra y un pase de subsolado (UPS+UPR).

Es probable que el corto plazo de evaluación, de solo un ciclo, haya influido en la respuesta encontrada y por tanto no se manifiestan concluyentemente los efectos favorables que han sido señalados en la literatura en relación al mejoramiento de la estructura del suelo, y demás beneficios reportados y respaldados en investigaciones hechas sobre este tema.

RECOMENDACIONES

En atención a los resultados obtenidos en este estudio, es necesario continuar la evaluación de nuevas experiencias y conocimientos sobre el impacto de la labranza sobre el suelo en estos sistemas en el mediano y largo plazo. Así mismo, explorar de acuerdo con las tecnologías disponibles en el país, otras modalidades de labranza reducida o de conservación orientadas hacia la adecuada selección de equipos e implementos para generar alternativas en la preparación del suelo que permitan revertir y evitar una mayor pérdida en su capacidad productiva.

Con relación a lo anterior, es necesario difundir la información generada para romper la resistencia de los productores a las formas alternativas de laboreo, así como orientar al Estado para definir políticas que regulen el uso de maquinarias e implementos y a su vez crear estímulos para la adopción de tecnologías que mantengan la salud y el equilibrio del suelo y rindan beneficios económicos a los agricultores y ambientales al ecosistema en general.

En la unidad productiva objeto de esta investigación, se sugiere iniciar ensayos de siembra directa conjuntamente con estas modalidades de labranza reducida y mantener en el tiempo el monitoreo de estos sistemas, lo cual permitiría la validación sustentada del comportamiento y adopción de los mejores en función de la protección al suelo, su productividad y rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.-Acosta, M y Galarraga, O. 2011. Efecto de la siembra directa sobre el suelo, desarrollo y rendimiento de dos ciclos sucesivos de maíz, bajo diferentes arreglos de siembra y formas de aplicación de nitrógeno. Proyecto de investigación. Escuela Politécnica del ejército. Ecuador. 112pp.
- 2.- Acosta-Martínez, V, Bell, C.W, Morris, B.E.L, Zak, J. y Allen, V.G. 2010. Long-term soil microbial community and enzyme activity responses to an integrated cropping-livestock system in a semi-arid region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 137: 231- 240.
- 3.-Agro.2020.Manejo de cultivos. [Documento en línea]. En: <https://www.jornada.com.mx/2020/03/21/delcampo/ainteriores.html>. [2021, julio 10].
4. - Association of official Analytical Chemist (A.O.A.C). 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington. VA.1 (15):173-186p.
- 5.-Báez, M y Aguirre. 2011. Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. *Rev. Terra Latinoamericana* 29: 113-121.
- 6.-Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*. 54: 464-465.
- 7.-Cachón G. 2011. “Sistemas de labranza. Efectos sobre propiedades físicas del suelo”. Universidad de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Argentina. Tesis de grado. 56 pp .
- 8.- Cadena, B, Egas, D, Ruiz, H, Mosquera, J y Benavides, O. 2012. Efecto de cinco sistemas de labranza, en la erosión de un suelo vitric haplustand, bajo cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L). *Rev. Ciencias Agrícolas* 29(2): 116-128.
- 9.-Castillo, A, Gauna, D, Dalurzo, H y Fernández, S. 2004. Subproductos del tabaco y de tung como enmiendas orgánicas en las propiedades físicas de un ultisol. *Agric. Tec.*3 (64): 288-294.
- 10.-Castillo, N, Díaz, D, González, J, Leyva, L, Domínguez, A y García, O. 2010. Evaluación del impacto de cuatro tecnologías de labranza sobre las propiedades físicas de los suelos tipo vertisol (agrupamiento de vertisoles)

en la Empresa Azucarera Majibacoa. Innovación tecnológica. Revista de la Ciencia en Las Tunas.2 (16): 82-88

- 11.-Ceballos, D, Hernández, O y Vélez, J. (2010). Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas de un andisol del departamento de Nariño. Revista de Agronomía. 25 (1): 40-48.
- 12.-Contreras, C.2009. Efecto de los mejoradores de suelo Miyaorganic^R y Algaenzims^R en la disminución de la densidad aparente (compactación) de un suelo arcilloso. Tesis Pregrado. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Navarro”. México. 78pp.
- 13.-Coras, P. 2000. Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego (Vol. Temas didácticos número 7). México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- 14.- Deagustini, C, Franco, G, Agostini, M, Studdert, G y Tourn, S. 2017. Vicia como cultivo puente y sistemas de labranza: Efecto sobre propiedades físicas del suelo. Rev. Ciencias del suelo. 35(2): 325-335.
- 15.- Delgadillo, O y Pérez, L. 2016. Medición de infiltración del agua en el suelo. Método de la doble anilla. Facultad de las ciencias Agrícolas, Pecuarias y Forestales Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 30pp.
- 16.-Delgado, R, Cabrera, E, Gámez, F y Navarro, L. 2010. Efecto del tipo de labranza sobre el suministro del agua y el crecimiento del frijol tuyo en los suelos mollisol de Venezuela. Agronomía Tropical 2 (60): 177-191.
- 17.- Estrada I, Hidalgo, G, Almaraz, J, Navarro, H y Jorge D. Etchevers, J. 2017. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. Agrociencias. (51):813-831.
- 18.-Espinoza, Y. 2010. Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. Bioagro 22(3):177-184.
- 19.-Espinoza, Y, Lozano, Z y Malpica, L. (2017). Efecto del sistema labranza sobre la estructura y fracciones de carbono y nitrógeno del suelo y su impacto en el desarrollo del cultivo de maíz. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia 34(4): 448-476.
- 20.-FAO, 2017. Carbono Orgánico del suelo el potencial oculto. [Documento en línea]. En: <http://www.fao.org/3/b-i6937s.pdf>.- FAO, 2017. [2018, Diciembre 13].

- 21.-FAO, 2001.Manual de agricultura de conservación.[Documento en línea].
En:www.fao.org/ag/ca/training_materials/cuba_manual_ac.pdf. [2018, diciembre 13].
- 22.-FAO, 2001.Labranza cero: cuando menos es más. [Revista en línea].
En:www.fao.org/ag/esp/revista. [2018, diciembre 13].
- 23.-FAO. 2008. Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación.
[Documento en línea]. Disponible En:
<http://www.fao.org/3/al298s/al298s.pdf>. [2018, diciembre 13].
- 24.-FAO. 2016. Propiedades físicas del suelo. [Documento en línea]. En:
<http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>. [13 Diciembre 2018].
- 25.- Fassio A, Ibañez W, Fernández E, Cozzolino D, Pérez O , Restaino E , Pascal A, Rabaza C y Vergara G. 2018. El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua. [Documento en línea]. En:
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8897/1/st-239-2018.pdf>.
[2021, julio 10].
- 26.-Ferrerías, L, Magra, G, Besson, P, Kovalevski, E y García, F. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Revista de Ciencias del suelo*. 2(25): 159-172.
- 27.-Forero, J. 2000. Parámetros Hidrodinámicos para Riego. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Unidad de Publicaciones. 31 p.
- 28.- Forsythe, W. 1980. Física de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 179 p.
- 29.- Gaibor, J. 2019. Influencia del uso del suelo en la infiltración del agua de microcuenca Alto Río Sábalo, Valle Hermoso. Universidad UTE. Trabajo previo a la obtención del título de Ingeniería Ambiental y Manejo de los Riesgos Naturales. [Tesis en línea]. En:
http://192.188.51.77/bitstream/123456789/20048/1/10180_1.MISHELLE%20GAIBOR.pdf. [2020, junio 16].
- 30.- Galván, F. 2006. Labranza de conservación. [Documento en línea]. En: [sices. Guanajuato.gob.mx](http://sices.guanajuato.gob.mx). [2020, junio 16].
- 31.-García, D; Cárdenas, J y Parra, S. 2018. Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico- química y microbiológica en un Inceptisol. *Revista de las Ciencias agrícolas* .34 (1):16-25.

- 32.- García, R. 2015. Efecto de sistemas de labranza en propiedades físicas del suelo y desarrollo radicular del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W). Rev. Del Instituto de Investigación ((RIIGEO). V.18 n.35.109-113pp.
- 33.-García, Y, Ramírez, W y Sánchez, S. 2012. Indicadores de calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y forrajes. 2(35).
- 34.-Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K y Solórzano-Quintana, M. 2018. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación de suelo. Tecnología en marcha 31(1): 170-180.
- 35.- Gómez, K.2011. Incidencia de la compactación ocasionada por el tractor en las propiedades físicas en un andisol. Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en – Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería civil y agrícola. Bogotá. D.C.
- 36.- Gómez, J. 2013. Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. [Manual en línea]. En: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2785/1/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf. [2020, junio 16].
- 37.- Gómez, N., Villagra, K y Solórzano, M. 2017. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación de suelo. Tecnología en marcha 31(1): 170-180.
- 38.- Gómez, N y Estrada, R. 2020. Conservación de suelos mediante la modificación de la frecuencia de labranza: un caso en Costa Rica. Rev. Ciencias Ambientales. 54(1).
- 39.- González, J. 2018. Aperos de labranza ecocompatibles para un desarrollo local sostenible. Rev. Dialnet. (54): 19.
- 40.-González, J; González, G; Sánchez, I; López, A y Valenzuela, L. 2011. Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad del suelo. Rev. Terra Latinoamericana. 29: 369-377.
- 41.- Gutiérrez, T., Lanuza, P y Rugama, J. 2019. Efecto de la agricultura de conservación y convencional en la producción del cultivo de guayaba (*Psidium guajava* L). [Tesis en línea]. En: <https://repositorio.unan.edu.ni/11289/>. [2020, Junio 25].

- 42.- Hernández, J. 2008. Impacto de la labranza en la porosidad del suelo mediante análisis de imagen. [Tesis en línea].En: <https://repositorio.uaaan.mx/handle>. [2020, Junio 23].
- 43.- Hernández, J., Vargas, M. y Lobo, D. 2013. Efectos de la siembra directa sobre la estabilidad de agregados en un Inceptisol degradado bajo el cultivo de arroz. Memorias en CD del XX Congreso Venezolano de las Ciencias del Suelo. San Juan de los Morros. Guárico.
- 44.- Herrera, J., Martínez, J., Rodríguez, A y Cid, G. 2017. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la infiltración en suelos ferralíticos rojos. Rev. Ingeniería Agrícola. 7(4).3-10.
- 45.-Homer, I y Casanova, M. 2011. Labranza de conservación en laderas. [Revista en línea].Disponible En: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/HomerX1.pdf>. [2021, enero 23].
- 46.-Holdridge.1978. Ecología basada en zona de vida Tropical. Inglesa por Humberto Jiménez Saa. IICS. San José.276 pp.
- 47.-INTAGRI. 2017. Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- 48.- Iglesias, J, Galantini, J y Vallejos, A. 2018. Cambios en la estabilidad de agregados con diferentes labranzas. [Documento en línea]. En: <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/8747> .[2020, junio 23].
- 49.- Izquierdo, R. 2012. Evaluación del cultivo de maíz (*Zea mays*), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimentos. Cayambe-Ecuador. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana.103p.
- 50.- Jamiroy, D. 2011. Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles del piedemonte llanero colombiano. Tesis Msc en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias.99p.
- 51.-Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo.[libro en línea].En:<http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>. [2017, Julio 05].

- 52.- Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: Tropic vs temperate environments. *Adv. Agron.* 42: 1073-1082.
53. Lal, R. 2014. Societal value of soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation.* 69(6):186A-192A. doi: <http://dx.doi.org/10.2489/jswc.69.6.186A>.
- 54.-López, J., Vázquez, C., Salazar, E., Zúñiga, R Y Trejo, H. 2010. Sistema de labranza y fertilización en la producción de maíz forrajero. *Revista internacional de botánica experimental.* 79:47-54.
- 55.-López, R. 2010. Laboreo de conservación: Efecto a corto y largo plazo sobre la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos. Tesis doctoral. Sevilla.
- 56.-López-Falcón, R y Delgado F. 2015. Degradación y manejo sostenible de suelos de sabana.[Documento en línea]. En:file:///C:/Users/Acer/Downloads/Capitulo7Volumen1TierrasLlanerasr ev.pdf. [2020, mayo 16].
- 57.-López, O., Guevara, R., Carranza, J., Scopel, E., Barreto, O., Mancilla, O y Talavera A. 2017. Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. [Revista en línea]. En: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000018> [2021, enero 16].
- 58.- López, U. 2011. Potencial de producción de grano, forraje y biomasa en híbrido elite de maíz. [Tesis en línea]. En: <https://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7482> [2021, enero 16].
- 59.- Lozano, Z. 2015. Indicadores de calidad de la materia orgánica de un suelo bajo agricultura conservacionista. Tesis Doctoral. UCV, Maracay.187pp.
- 60.- Lozano, Z; Cabrera, S; Peña, J y Adams, J. 2011. Efecto de los sistemas de labranza sobre dos inceptisoles de los Llanos Occidentales de Venezuela. *Rev. Venesuelos* 1 y2 (5): 24-33.
- 61.-Martín, R., Jerez, E y Moreno, F. 2016. Influencia del laboreo en algunas propiedades hidrofísicas del suelo y en la extracción de nutrientes por el trigo (*Triticum durum* L). *Rev. Cultrop.* 4 (37).
- 62.-Martínez-Gamiño, M., Osuna, E y Espinosa, M. 2020. Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Rev. Cienc. Agric.* 4(10).

- 63.- Mcvay, K, Budde, J, Fabrizzi, K, Mikha, M, Rice, C, Schlegel, A, Peterson, D, Sweeney, D, Thompson, C. 2006. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Science Society of America Journal* 70: 434-438.
- 64.- Mendoza, B., Vera, E., Chassaingne, A., Gómez, C., Torres, D y Bastidas, Y. 2015. Efecto de posición fisiográfica y profundidad en dos sistemas de labranza sobre atributos de un suelo de Turen. *Rev. Unell .Cienc. Tec.*33: 1-12.
- 65.-Meneses., Gotay, J y Pérez, R. 2017. Caracterización de la velocidad de infiltración del agua en suelos arroceros. Instituto de investigaciones de riego drenaje.[Tesis en línea]. En:[http://www.actaf.co.cu/revistas/revistagrano/Revista%20en%20PDF%20\(Vol%207%20No%201\)/Trabajo%2010.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revistagrano/Revista%20en%20PDF%20(Vol%207%20No%201)/Trabajo%2010.pdf). [2021, enero 16].
- 66.-Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. 2012. Record climatológico estación Mesa de Cavacas. Estado Portuguesa Periodo 1978-2010.10 paginas.
- 67.-Mora, M., Ordaz, V, castellano, J, Aguilar, A, Gavi, F y Volke, V. 2001. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Revista TERRA* 19: 67-74.
- 68.- Novillo, I, Carrillo, M, Cargua, Moreira, V, Albán, K y Morales, F.2018. Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la Provincia de los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios* 23(2):177-187.
- 69.-Ohep, C, Marcano, F y Rangel, L. 1994. Efecto de la labranza sobre algunas características físicas del suelo y la producción del maíz en el Yaracuy medio. *Rev. Bioagro* 6(3):77-96.
- 70.-Ohep, C, Marcano, F, Pudzzar, S y Colmenares, C. 2002. Efecto de la labranza conservacionista en los atributos físicos del suelo que influyen sobre el rendimiento del maíz. *Rev. Bioagro* 1 (14): 37-45.
- 71.- Olivet-Rodríguez, Y y Cobas- Hernández, D. 2017. Efecto de dos sistemas de labranza mínima sobre la porosidad de un Fluvisol para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L). *Rev. REDEL*.1 (1): 13-21
- 72.- Olsen, SR, Cole, CV, Watanabe, FS , Dean, LA. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate . United States Departament of Agriculture. Circular 93

72. Perales, M, Alvarado, L, Hermosillo, L, Vega, F, Hermosillo A y Melisa C. Impacto de la agricultura de conservación y la aplicación de zinc en la rentabilidad sostenible de forraje de maíz-triticale en la comarca lagunera Revista Mexicana de Agronegocios, vol. 47, 2020. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C., México. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14165939008>
- 73.-Puentes, G y Legarda, L.1999. Los sistemas de labranza y su influencia en la sostenibilidad del suelo. Revista de Ciencias Agrícolas. 16(1y2).
- 74.- Quispe, R.2018.Efecto del subsolador sobre la velocidad de infiltración y compactación en dos clases de suelos en el CIP ILLPA. Tesis pregrado. Universidad Nacional de Altiplano. Perú. 85pp.
- 75.- Ramírez-Ibarra, J., Figueroa-Viramontes, U., Nuñez-Hernandez, G ., Reta-Sánchez, D y Garcia-Hernandez, J. 2016. Evaluación de métodos de labranza y aplicación de estiércol en la producción de maíz forrajero. Rev. Chapingo. 15(2): 67-76.
- 76.- Ramírez, R., Taboada, M y Gil, R. 2006. Efecto a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un argiudol típico de la Pampa Ondulada Argentina. Rev.Fac.Nal.Agr. (59):1.
77. Reyes, K. 2019. Influencias de las labranzas cero, mínima y tradicional en las propiedades físicas del suelo y su incidencia en la producción del maíz (*Zea mays* L) INEA 619 Megahibrido, en el predio Chuin Bajo –INIA-EEA-Vista Florida-Anexo. Paiján. [Tesis en línea]. En: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12718>. [2020. Junio 25].
- 78.- Ríos, D, Rojas, E, Santacruz ,E, Villalba, M y Oroa, P, 2018. Relación de la densidad aparente con el contenido de la materia orgánica en suelos bajo diferentes usos. [RESUMEN]. IN I congreso de suelo del departamento Alto Paraná. Minga Guazú Paraguay.p.85.
- 79.- Rodríguez, A, Arcia, J, García, J , Cid, G y Fleites, J. 2015. Los sistemas de labranza y su influencia en las propiedades físicas del suelo. Rev. Ingeniería Agrícola. 5(2). 55-60 pp.

- 80.- Salamanca, A y Amezquita, E. 2015. Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 20(1):51.
- 81.-Satorre, E, Taboada, M, Maddonni, G, Dodds, P , González, E y Vilariño, P. 2016. Cátedra de cereales y cultivos industriales. Facultad de Agronomía, UBA. Disponible
En:[file:///C:/Users/mi%20pc/Downloads/2016%20PG%2012%20Labranzas%20(1).pdf]. [2018, mayo 22].
- 82.-Seguel, O; García; Casanova, M. 2000.Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agric. Téc.* 3(6)
- 83.- Strebin, S.1993. Actualización del estudio capacidad de uso de las tierras del estado Portuguesa. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. 45pp.
- 84.-Sifuentes, E, Mecias, J, Mendoza, C, Vázquez, D, Salinas, D y Inzunza, M. 2018. Efecto de la siembra directa en las propiedades del suelo y aprovechamiento de riego en maíz en Sinaloa, México. *Rev. Mex.Cienc.Agric.* 20(esp):4235.
- 85.- Soto, E, Hernández, M, Luna, H, Ortiz, E y García, E. 2016. Evaluación del contenido de la materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/ nitrógeno. *Rev. Iberoamericana de ciencias.* 3(5).
- 86.- Sotomayor-Ramírez, D., Espinoza, Y y Ramos-Santana, R. 2007. Short-term tillage practices on soil organic matter pools in a tropical Ultisol. *Australian J. Soil Research* 44: 687-693.
- 87.-Tadeo-Robledo, M., Espinosa- Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., Turrent-Fernández, A., Sierra-Macías, M y Gómez-Montiel, N. 2012. Forraje y grano de híbrido de maíz amarillos para Valles Altos de México. *Rev. Agronomía Mesoamericana.* 2(23): 281-288.
- 88.-Tejos, R.1997. Inventario de vegetación. Guía práctica de Programa de Producción Agrícola animal. UNELLEZ-Guanare.12p. (Mimeo).
- 89.-Trujillo, M, Méndez, Hossne, A y Parra, F. 2010. Efecto de la humedad y compactación de un ultisol de las sabanas del estado Monagas sobre la concentración de clorofila y carotenoide, lavado de electrolitos y contenido relativo de agua en plantas de soya. *Revista Redalcy.org.* 3(20): 18-30.

90. -Valenzuela, B, Franyer, R y Efrain M. 2015. Efecto del uso y manejo sobre las propiedades físicas de un suelo bajo dos sistemas de cultivo en el distrito de Riego del Rio Zulia, Norte de Santander. Rev. Suelos Ecuatoriales. 45(2):41-47.
- 91.-Valverde, F, Ramos M y Parra, R.2015. Evaluación de sistemas de labranza de conservación del suelo y fertilización con fosforo en maíz, al tercer año de estudio. VIII Congreso ecuatoriano de la ciencia del suelo. Disponible En: [<http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1-Evaluacion-de-sistemas-de-labranza-Valverde-F.pdf>].
92. - Van, J. 1980. Analytical Atomic Absorption Spectroscopy. Academic Press, New York. 344p.
- 93.- Volverás, B, Amezquita, E y Campo, J. 2016. Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria.17 (3):361-377.
- 94.-Vargas-Machuca, R. 2010. Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos. XII Congreso ecuatoriano de la ciencia del suelo. [Revista en línea]. En: www.secsuelo.org. [2020, diciembre 17].
- 95.- Velázquez, D, Encina, A, Enciso, D, Villalba, C y Oroa, E. 2018. Relación de densidad aparente con el contenido de materia orgánica en suelos bajo diferentes usos.[Resumen]. In I Congreso de suelos del Departamento Alto Paraná. Minga Guazú, Paraguay.85p.
96. - Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

ANEXO A

ANÁLISIS DE SUELO

Universidad Nacional Experimental
 de los Llanos Occidentales
UNELLEZ
 Vice-Rectorado de Producción Agrícola
 LA UNIVERSIDAD QUE SE MIRA

Laboratorio de Análisis y Procesamiento de Suelo
RUTINA

N° Lab: 1056 Propietario: GERMAN ESCALONA
 LA PREFERIDA Estado: PORTUGUESA
 GUAYABE Localidad: LAS MARIAS

	35887	35888	35889
N° Lab.			
Idem Muestra:	M-1(MOTOR)	M-2(LA LAGUNA)	M-3(GARCEZ)
Cultivo	MAIZ	MAIZ	MAIZ
Prof (cm):	0-20	0-20	0-20
pH (Rel 1:2):	4,0	4,0	3,7
Cond Eléct (dS/m):	0,14	0,09	0,08
Mat org (%):	2,16	2,25	2,14
Fósforo (ppm):	7,0	7,0	20
Potasio (ppm):	85	75	125
Calcio (ppm):	354	413	295
Magnesio (ppm):	124	85	71
Alister (meq/100g):	TRAZAS	1,2	0,8
Textura:	F.A	F.A	F.A
Arenas (%):	24,0	38,0	26,0
Arcilla (%):	38,0	30,0	38,0
Limo (%):	38,0	32,0	36,0

pH Potenciometría Conductividad Eléctrica Conductimetría Materia Orgánica Walkley-Black Fósforo Olsen y Bray
 Calcio Acetato de Ammonio formolín de llama Calcio y Magnesio Acetato de Ammonio pH7-Absorción Atómica Aluminio
 Intercambiables Nitrógeno por Brindley



29/03/2017 04:13:43 p.m.
 Lcdo. Ali Cohir
 Coordinador de Laboratorio

Universidad Nacional Guayanaense, sector Mesa de Cavacas UNELLEZ pabellón "F", teléfonos 0257-2568006-8 Ext: 1054

ANEXO B

MEDICION DEL DISEÑO DE CAMPO Y PREPARACION DEL TERRENO



ANEXO C

TOMA DE MUESTRA PARA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO



ANEXO D
CULTIVO DE MAIZ



ANEXO E

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS PARA DENSIDAD APARENTE

DENSIDAD APARENTE ANTES DE LA SIEMBRA

Statistix 8.0
25/04/2019, 18:28:39

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of DA by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
2	1.2883	A
0	1.2333	A
1	1.2253	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.0545
Critical Q Value 3.675 Critical Value for Comparison 0.1417
There are no significant pairwise differences among the means.

DENSIDAD APARENTE A LOS 30-35 DIAS

Statistix 8.0
25/04/2019, 18:37:45

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of DA by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
0	1.2483	A
1	1.2383	A
2	1.2317	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.0827
Critical Q Value 3.675 Critical Value for Comparison 0.2150
There are no significant pairwise differences among the means.

DENSIDAD APARENTE A LOS 70-80DIAS

Statistix 8.0
25/04/2019, 18:46:00

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of DA by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
-----	------	--------------------

1	1.1567	A
0	1.1283	A
2	1.0983	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.0237
 Critical Q Value 3.675 Critical Value for Comparison 0.0616
 There are no significant pairwise differences among the means.

ANEXO F

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS PARA ESPACIO POROSO TOTAL

ESPACIO POROSO TOTAL ANTES DE LA SIEMBRA

Statistix 8.0
 25/04/2019, 19:21:24

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of EPT by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
0	53.333	A
1	53.333	A
2	51.833	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 2.0629
 Critical Q Value 3.675 Critical Value for Comparison 5.3607
 There are no significant pairwise differences among the means.

ESPACIO POROSO TOTAL A LOS 30-35 DIAS

Statistix 8.0
 25/04/2019, 19:24:29

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of EPT by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
2	54.000	A
1	53.500	A
0	52.833	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 3.1914
 Critical Q Value 3.675 Critical Value for Comparison 8.2932
 There are no significant pairwise differences among the means.

ESPACIO POROSO TOTAL A LOS 70-80 DIAS

Statistix 8.0
25/04/2019, 19:31:27

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of EPT by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
2	58.667	A
0	57.333	AB
1	56.167	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.8097
Critical Q Value 3.675 Critical Value for Comparison 2.1040
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

ANEXO G

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA INFILTRACIÓN BÁSICA

INFILTRACIÓN BÁSICA ANTES DE LA SIEMBRA

Statistix 8.0
05/06/2020, 11:35:59 a.m.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of INF by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
0	0.2340	A
2	0.1373	B
1	0.1373	B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.0140
Critical Q Value 5.909 Critical Value for Comparison 0.0584
There are 2 groups (A and B) in which the means
are not significantly different from one another.

INFILTRACIÓN BÁSICA A LOS 30- 35 DÍAS

Statistix 8.0
11:29:11 a.m.

05/06/2020,

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of INF by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
-----	------	--------------------

0	0.2668	A
2	0.2492	A
1	0.1564	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.0299
 Critical Q Value 5.909 Critical Value for Comparison 0.1249
 There are no significant pairwise differences among the means.

INFILTRACIÓN BÁSICA A LOS 70-80 DIAS

Statistix 8.0
 11:33:51 a.m.

05/06/2020,

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of INF by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
2	0.2837	A
1	0.2142	A
0	0.1920	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.0293
 Critical Q Value 5.909 Critical Value for Comparison 0.1225
 There are no significant pairwise differences among the means.

ANEXO H

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA MATERIA ORGÁNICA

MATERIA ORGÁNICA ANTES DE LA SIEMBRA

Statistix 8.0
 19/02/2019, 18:45:08

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of MO by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
2	3.0000	A
0	2.8333	A
1	2.3333	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.3043
 Critical Q Value 3.675 Critical Value for Comparison 0.7907
 There are no significant pairwise differences among the means.

MATERIA ORGÁNICA A LOS 30-35 DÍAS

Statistix 8.0
19/02/2019, 18:53:00

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of MO by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
2	2.8333	A
0	2.6667	A
1	2.6667	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.2789
Critical Q Value 3.675 Critical Value for Comparison 0.7247
There are no significant pairwise differences among the means.

MATERIA ORGÁNICA A LOS 70- 80 DÍAS

Statistix 8.0
19/02/2019, 19:00:37

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of MO by REP

REP	Mean	Homogeneous Groups
2	2.8333	A
0	2.6667	A
1	2.5000	A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.2854
Critical Q Value 3.675 Critical Value for Comparison 0.7418
There are no significant pairwise differences among the means.