

**EVALUACIÓN DE CUATRO SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE
ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN EL VALLE MEDIO DEL SINÚ**

**DIEGO FERNANDO CONTRERAS SANCHEZ
ANDRES FELIPE MEDRANO MIRANDA**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA
MONTERÍA-CORDOBA
2023**

**EVALUACION DE CUATRO SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE
ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN EL VALLE MEDIO DEL SINU.**

**DIEGO FERNANDO CONTRERAS SANCHEZ
ANDRES FELIPE MEDRANO MIRANDA**

**Trabajo de grado, modalidad Investigación, como requisito para optar al
título de Ingeniero Agrónomo**

DIRECTORES

JOSÉ ANTONIO PEROZA SIERRA. Ing. Agro, (MSc)

CRISTO RAFAEL PEREZ. Ing. Agro, (MSc)

FRANCISCO JAVIER PEÑA MURILLO Ing. Agro, (MSc)

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA
MONTERÍA – CÓRDOBA
2023**

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas expresadas, conceptos y resultados del proyecto son responsabilidad de los autores.

Artículo 17, acuerdo N° 039 de 24 de junio de 2005 del Consejo Superior de la Universidad de Córdoba.

Los derechos de propiedad intelectual y confidencialidad de los resultados de investigación se rigen por la política de propiedad intelectual de la Universidad de Córdoba: Acuerdo No. 045 de 2018.

Nota de Aceptación

José Antonio Peroza Sierra, Ing. Agro. MSc
Director

Cristo Rafael Perez. Ing. Agro, MSc
Director

Francisco Javier Peña Murillo, Ing. Agro. MSc
Director

Eliecer Miguel Cabrales Herrera, Ing. Agro. MSc
Jurado

Anibal Trebilcok Perna, Ing. Agro. Esp
Jurado

Montería, marzo de 2023

DEDICATORIA.

A mis padres Elsy Edith Sánchez Álvarez y Adolfo Enrique Contreras Cultiva que siempre se esforzaron por darme la mejor educación, por su apoyo incondicional y por criarme e inculcarme desde pequeño los valores y aptitudes que me forjaron como hombre de bien.

A mi abuelita querida Mamioina quien siempre me apoyo de una u otra manera mis ocurrencias, toda la vida estaré eternamente agradecido con ellos.

A la mujer que complementa mi vida y que me hace feliz todos los días, María Isabel Tuiran Ariza, quien me dio más razones para seguir superándome y ser ejemplo cada día.

A los amigos y profesores con los que alguna vez en el andar de la vida me encontré por que en cada uno de ustedes hallé alguna motivación, ejemplo y esperanza para hacer de este mundo un mejor mañana.

A una persona en especial que a pesar de que no tuve la fortuna de conocerla sé que estaría muy orgulloso de verme terminar mi carrera, mi abuelito Raúl Sánchez Contreras; él fue una de mis motivos y fuentes de inspiración por el cual decidí emprender este camino en la agricultura, el hecho de reivindicar al campesino hacer justicia social es y siempre será mi razón de ser y no descansare hasta lograrlo.

Diego Fernando Contreras Sánchez

DEDICATORIA.

A mis padres Hernán Medrano y Martha Miranda quienes me apoyaron desde el comienzo, dando todo de sí para que me convirtiera en un profesional. Me enseñaron a nunca darme por vencido y seguir avanzando, muchas gracias por todo.

A Hernán Miguel Medrano quien ha sido un ejemplo durante toda mi vida y siempre estuvo allí cuando necesité de su ayuda.

A Jorge Luis y Rafael Medrano quienes me acompañaron durante todo este proceso de aprendizaje.

A mis amigos Kevin Castaño, Luis Eduardo de hoyos, Jhosman Díaz y Cristian Álvarez los cuales me extendieron su mano para ayudarme en los momentos que necesité. Al igual estoy muy agradecido por el apoyo y aprecio que recibí por parte de Mapaga, quien me enseñó a creer en mí, mostrándome que puedo lograr cualquier cosa que me proponga.

Andrés Felipe Medrano Miranda

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por sembrar en nuestros corazones la vocación, el amor y la pasión por el campo, por regalarnos el milagro de vivir para disfrutar de su creación, quien nos ha dado la sabiduría, el entendimiento, la fortaleza, el amor y la pasión a lo largo de nuestra formación profesional, el permitir poder culminar una etapa más de nuestro proyecto de vida, solo Él sabe cuánto lo hemos anhelado.

A nuestros mentores y amigos los ingenieros José Antonio Peroza Sierra y Francisco Javier Peña Murillo por abrirnos las puertas y brindarnos la confianza para realizar esta investigación, por sus orientaciones, las enseñanzas, los consejos y el acompañamiento brindado en este proceso facilitando siempre los medios suficientes para llevar a cabo las actividades propuestas en la tesis.

Al ingeniero Cristo Rafael Pérez por su apoyo durante la realización de este trabajo y a todo el grupo técnico de ingenieros, trabajadores y demás personas de la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) seccional Montería del departamento de Córdoba, por prestar sus instalaciones, financiamiento, su orientación y participación en el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad de Córdoba y la Facultad de Ciencias Agrícolas donde encontramos colegas los cuales nos brindaron una mano amiga más allá de lo académico, el lado humano y lo maravilloso que puede llegar a ser la educación superior.

Diego Fernando Contreras Sánchez
Andrés Felipe Medrano Miranda

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
2. JUSTIFICACIÓN.....	20
3. MARCO TEORICO.....	22
3.1 ORIGEN DEL ARROZ.....	22
3.2 TAXONOMÍA DEL ARROZ.....	22
3.2.1 Genero <i>Oryza</i>	22
3.3 MORFOLOGÍA.....	23
3.3.1 Raíces.....	23
3.3.2 Tallo.....	23
3.3.3 Macollamiento.....	24
3.3.4 Hojas.....	24
3.3.5 Panícula.....	24
3.3.6 Espiguilla.....	24
3.3.7 Flores.....	26
3.3.8 Maduración y senescencia.....	26
3.4 FASES DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ.....	27
3.4.1 Fase vegetativa.....	28
3.4.2 Fase Reproductiva.....	29
3.4.3 Fase de Maduración.....	29
3.5. ETAPAS FENOLOGICAS DEL ARROZ.....	30
3.5.1 Etapa 0. Germinación a emergencia de la semilla.....	30
3.5.2 Etapa 1. Estado de plántula.....	30
3.5.3 Etapa 2. Macollamiento.....	31
3.5.4 Etapa 3. Elongación de tallo (simultánea al inicio de primordio floral).....	32
3.5.5 Etapa 4. Desarrollo de panícula – embuchamiento.....	32
3.5.6 Etapa 5. Espigamiento.....	33
3.5.7 Etapa 6. Floración.....	33
3.5.8 Etapa 7. Grano lechoso-pastoso (llenado de grano).....	34
3.5.9 Etapa 8. Grano maduro.....	35
3.6. VARIEDAD FEDEARROZ 2020.....	36
3.7. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES.....	36
3.8 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	36
3.8.1 Textura.....	37
3.8.2 Porosidad.....	37
3.8.3 Densidad Aparente.....	37
3.8.4 Consistencia.....	37
3.8.5 Resistencia a la Penetración.....	38
3.8.6 Infiltración.....	38
3.9 PREPARACIÓN DEL SUELO PARA EL CULTIVO DE ARROZ.....	38

3.9.1 OPERACIONES DE LABRANZA DE SUELO EN EL CULTIVO DE ARROZ..	38
1) Arado.....	38
2) Rastra pesada (rome-plow).....	38
3) Land plane (niveladora)	39
4) Laser.....	39
5) Caballoneador	39
6) Cincelado.....	39
7) Tipos de Labranza	39
a) Según el Objetivo principal de la labranza.....	39
1. Labranza Primaria.....	39
2. Labranza Secundaria	39
b) Según la intensidad o cantidad de labores que se hacen.....	39
1. Labranza Convencional	39
2. Labranza Reducida.....	40
3. Labranza Mínima	40
4. Labranza Cero	40
c) Según el volumen de suelo afectado con la labor.....	40
1. Labranza Vertical	40
2. Labranza Horizontal.....	40
4. OBJETIVOS.....	41
4.1 OBJETIVO GENERAL	41
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	41
5. HIPOTESIS.....	42
6. METODOLOGÍA	43
6.1 LOCALIZACIÓN.....	43
6.2 MUESTREO DE SUELO PARA ESTUDIO FISICO-QUIMICO	43
1. Parametros Fisicos	43
a) Resistencia a la penetración.....	43
b) Infiltración	43
c) Densidad aparente.....	43
d) Porosidad.....	43
2) Parámetros Químicos.....	44
a) Análisis Químico.....	44
3) Adecuación del lote	44
4) Material vegetal y siembra	45
5) Riego	45
6.3 MANEJO DEL CULTIVO	45
1. Control de Arvenses	45
2. Plan de Fertilización.....	45
6.4 VARIABLES FISIOLÓGICAS.....	46
a) Masa Seca de Raíces.....	46
b) Materia Seca de la Parte Aérea.....	46
c) Altura de Plantas.....	46
6.5 VARIABLES DE RENDIMIENTO	46
a) Población de plantas	46

b) Número de macollas o Maximo Macollamiento	46
c) Macollamiento Efectivo	46
d) Longitud de Espigas	46
e) Masa seca del Grano.....	46
f) Peso de 1000 Granos	46
g) Vaneamiento.....	46
h) Rendimiento.....	46
i) Índice de pilada.....	47
6.6) EVALUACION DE COSTOS DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA IMPLEMENTADOS.....	47
a) Análisis de Costos	47
6.7 DISEÑO EXPERIMENTAL Y/O DE MUESTREO.....	47
6.8 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTOS DE DATOS.....	47
7. RESULTADOS Y DISCUCIONES.....	48
7.1 Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo ...	48
a) Resistencia a la penetración.....	48
b) Infiltración	51
c) Densidad aparente.....	52
d) Porosidad.....	53
e) Análisis de las propiedades químicas del suelo.....	53
7.2 Efecto de los sistemas de labranza sobre las variables de crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento	54
a) Masa Seca de Raíces	55
b) Materia Seca de la Parte Aerea.....	57
c) Altura de Plantas.....	57
1) Componentes de Rendimiento	58
a) Población de plantas	59
b) Número de macollas o Maximo Macollamiento	51
c) Macollamiento Efectivo	62
d) Longitud de Espigas	62
e) Masa seca del Grano.....	63
f) Peso de 1000 Granos	64
g) Vaneamiento.....	64
h) Rendimiento.....	66
i) Índice de pilada.....	67
7.3 Análisis de costo de los sistemas de labranza implementados.....	68
a) Análisis de Costos	68
8. CONCLUSIONES	69
9. RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS	71
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de referencia de los nutrientes en el suelo	44
Tabla 2. Sistemas de labranza implmentados.....	45
Tabla 3. Valores promedio de resistencia a la penetración (MPa) antes de mecanizar el suelo, según la profundidad de muestreo.....	49
Tabla 3.1. Valores promedio de resistencia a la penetración (MPa) después de labrar el suelo, según la profundidad de muestreo.....	49
Tabla 3.2. Valores promedios de resistencia a la penetración (MPa) después de cosecha, según la profundidad de muestreo.....	50
Tabla 4. Valores medios para la densidad aparente del suelo en cuatro sistemas de labranza.....	53
Tabla 5. Valores medios para la porosidad del suelo en cuatro sistemas de labranza.....	53
Tabla 6. Contenido de nutrientes, pH y CICE para cuatro sistemas de labranza para la siembra de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.).....	54
Tabla 7. Análisis de Varianza de las variables de crecimiento y desarrollo.....	55
Tabla 8. Valores medios de las características cada una de las variables evaluadas.....	55
Tabla 9. Análisis de Varianza de los de los componentes de rendimiento y calidad molinera.....	58
Tabla 10. Valores medios de las características cada una de las variables evaluadas.....	59
Tabla 11. Número de macollas por planta de acuerdo a los días después de emergencia, en función de cuatro tratamientos de labranza en el cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.).....	61
Tabla 12. Indicadores económicos de cada uno de los sistemas de labranza.....	69

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de raíces.....	23
Figura 2. Tallo, nudo y entrenudos.....	24
Figura 3. Hoja bandera, cuello con lígula y aurícula.....	25
Figura 4. Estructura de una espiguilla.....	26
Figura 5. Fases y Etapas Fenológicas de la planta de Arroz.....	28
Figura 6. Macollamiento de la planta de arroz.....	28
Figura 7. Planta de arroz terminando la fase reproductiva.....	29
Figura 8. Fase de Maduración del cultivo de arroz.....	29
Figura 9. Partes de una semilla de arroz.....	30
Figura 10. Estado de plántula (a) y las partes de la plántula (b).....	31
Figura 11. Inicio de Macollamiento de la planta de arroz. (C), finalización de Macollamiento (D).....	31
Figura 12. Corte longitudinal de un tallo de arroz con el entrenudo elongado.....	32
Figura 13. Dos estados de la panícula en desarrollo (Fase reproductiva).....	32
Figura 14. Etapa de espigamiento del arroz.....	33
Figura 15. Florecilla de arroz y sus partes (E) y espiguillas en floración (F).....	34
Figura 16. Panículas en etapa de llenado de grano.....	35
Figura 17. Plantas de arroz en etapa de grano maduro.....	49
Figura 18. Tendencias de la resistencia promedio a la penetración antes de mecanizar el suelo, expresados en Megapascales (MPa).....	48
Figura 19. Tendencias de la resistencia promedio a la penetración después de labrar el suelo, expresados en Megapascales (MPa).....	49
Figura 20. Tendencias de la resistencia promedio a la penetración después de cosecha, expresados en Megapascales (MPa).....	49
Figura 21. Comportamiento de la infiltración según el método de doble anillo en los tratamientos T1, T2, T3 y T4.....	51
Figura 22. Valores medios para la masa seca de raíces (g) por unidad de área muestreada (0,25 m ²). Tratamientos con diferente letra son diferentes según el análisis de medias de Tukey, p<0,05.....	55
Figura 23. Valores medios para la materia seca de la parte aérea (g) por unidad de área muestreada (0,25 m ²). Tratamientos con misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, p<0,05.....	56
Figura 24. Altura de Oryza sativa L. en función de cuatro sistemas de labranza.....	57
Figura 25. Valores medios para la población de plantas de arroz por unidad de área muestreada (0,25 m ²). Tratamientos con diferente letra son diferentes según la prueba Tukey, p<0,05.....	60
Figura 26. Valores medios para macollamiento efectivo del cultivo del arroz en función de cuatro tratamientos de labranza. Tratamientos con la misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, p<0,05.....	61
Figura 27. Valores medios para la longitud de espigas en función de cuatro tratamientos de labranza. Tratamientos con misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, p<0,05.....	62

Figura 28. Valores medios para la materia seca del grano en función de cuatro tratamientos de labranza. Tratamientos con misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, $p < 0,05$	62
Figura 29. Valores medios para el peso de 1000 granos en función de cuatro tratamientos de labranza. Tratamientos con misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, $p < 0,05$	63
Figura 30. Valores medios para el porcentaje de Vaneamiento (%) por unidad de área muestreada (0,25 m ²). Tratamientos con diferente letra son diferentes según el análisis de medias de Tukey, $p < 0,05$	65
Figura 31. Valores medios sobre el rendimiento (ton/ha) por tratamiento. Tratamientos con diferente letra son diferentes según la prueba de Tukey, $p < 0,05$	66
Figura 32. Valores medios para la profundidad de labranza máxima índice de pilada (%) por unidad de área muestreada (0,25 m ²). Tratamientos con diferente letra son diferentes según la comparación de medias de Tukey, $p < 0,05$	67

RESUMEN

La maquinaria agrícola tradicional es la única alternativa que poseen los agricultores a la hora de realizar la preparación de sus terrenos, surgida esta preocupación se buscó llevar a cabo un tipo de labranza conservacionista para mitigar los efectos degradativos del suelo. En esta investigación tuvo como objetivo evaluar cuatro sistemas de labranza: Labranza cero (T1); Un pase de Equipo integral +Un pase de Rastra pesada (T2); Un pase de Rastra pesada + Un pase de Equipo integral (T3); Un pase de Rastra pesada + dos pases de Equipo integral (T4) enfocados en la producción, rendimiento y rentabilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*). Esta investigación se realizó, en el campo experimental “La Victoria” de FEDEARROZ (Fondo Nacional del Arroz F.N.A), kilómetro 8 del municipio de Montería, coordenadas: 8° 89' N y 75° 49' W. Se hizo un diseño completamente aleatorizado (DCA) con un arreglo en franjas, para un total de cuatro tratamientos. Se evaluaron parámetros físicos del suelo, variables de crecimiento y desarrollo, componentes de rendimiento, calidad molinera y análisis de costos. Los resultados mostraron que la compactación del suelo disminuyó a partir del pase de los implementos, indicando la importancia en el orden de uso de estos, así mismo tiene una relación directa en el desarrollo fisiológico siendo el T4 quien obtuvo un buen desarrollo en la parte radical y mayor población de plantas, el índice de pilada mostró resultados regulares respecto a la calidad del grano ya que los valores entre los tratamientos estuvieron por debajo del 60%. Por otro lado, en términos de rendimiento el T3 mostró una mayor producción.

Palabras clave: Labranza conservacionista, Labranza Cero, Equipo Integral, Rastra Pesada, cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*)

ABSTRACT

Traditional agricultural machinery is the only alternative that farmers have when preparing their land, and this concern led to the search for a type of conservation tillage to mitigate the degrading effects of soil degradation. The objective of this research was to evaluate four tillage systems: zero tillage (T1); one pass of integral equipment + one pass of heavy harrowing (T2); one pass of heavy harrowing + one pass of integral equipment (T3); one pass of heavy harrowing + two passes of integral equipment (T4) focused on the production, yield and profitability of rice (*Oryza sativa* L.). This research was carried out in the experimental field "La Victoria" of FEDEARROZ (Fondo Nacional del Arroz F.N.A), kilometre 8 of the municipality of Monteria, coordinates: 8° 89' N and 75° 49' W. A completely randomized design (CRD) was used with an arrangement in strips, for a total of four treatments. Soil physical parameters, growth and development variables, yield components, milling quality and cost analysis were evaluated. The results showed that soil compaction decreased as soon as the implements were used, indicating the importance of the order of use of the implements, as well as a direct relationship with physiological development, with T4 obtaining good root development and a larger plant population. The piling index showed regular results with respect to grain quality, as the values between treatments were below 60%. On the other hand, in terms of yield, T3 showed a higher production.

Key words: Conservation tillage, Zero tillage, Integral equipment, Heavy harrowing, rice (*Oryza sativa* L.)

INTRODUCCIÓN

Leverón Sosa (2020), menciona que el desarrollo de la agricultura es muy importante, ya que, abastece de alimento a toda la población, y esto gracias a los avances de fitomejoramiento, nuevas tecnologías en el campo agrícola y al efecto positivo de la labranza cuando se usa responsablemente. Las bondades nutricionales del arroz han trascendido por su importancia, dado que esta gramínea es la que mayor aporte calórico brinda de todos los cereales. En Colombia, el arroz ocupa el primer lugar de importancia económica dentro del cultivo de cereales, posicionando al país en el segundo lugar en Latinoamérica (FAO, 2021).

En los sistemas de cultivo mecanizado el uso continuo de implementos de labranza, especialmente los arados y rastras de discos, los arados de vertedera y los rotovadores durante largos períodos, frecuentemente repercuten en la formación de pisos de arado densos que contienen pocos poros grandes capaces de ser penetrados por las raíces de los cultivos (Pinto Falconi, 2020).

En el suelo pueden ocurrir otros procesos que pueden alterar los rendimientos en los lotes arroceros; dichos cambios pudieron haberse formado desde hace varios años o incluso en una campaña previa. Por ejemplo, alteraciones locales del pH (Kusumawardani et al., 2017), capacidad de intercambio catiónico, cambios en la relación carbono-nitrógeno, perfiles del suelo reducidos, niveles freáticos someros, baja carga hidráulica, poca profundidad efectiva, entre otros cambios que se deben empezar a mejorar para estimular el crecimiento radicular y, consigo, el crecimiento y desarrollo oportuno del cultivo (Fang et al., 2018; Hakro et al., 2022).

Al respecto, la adecuación de suelos constituye el punto de partida en los procesos de desarrollo agrícola y es un factor determinante cuando se comparan los niveles de producción del sector agrícola moderno con los del sector tradicional. Esta condición define la necesidad de involucrar en todo proceso productivo y en el caso específico del arroz, la actividad de adecuación de tierras como una herramienta fundamental en los programas de manejo integrado del cultivo (Kega et al., 2015).

Así mismo, Salazar Mora (2022), propone alternativas de desarrollo sustentable en el contexto agrícola que se fundamenten en el área económica, ecológica y social. Es por ello, que la Labranza reducida aporta un conjunto de labores, que normalmente se realizan por separado, orientadas a conseguir la preparación del terreno y la siembra con el mínimo indispensable de movimiento del terreno para un crecimiento adecuado de las plantas. Su objetivo es un ahorro de energía y de tiempo de trabajo y, así como, una reducción del número de pasadas del tractor sobre el terreno (Cháves et al., 2017).

En esta investigación se evaluaron diferentes métodos de labranza, labranza cero (LC), equipo integral (Cinzel rígido más rastrillo de discos y rolo desterronador) y rastra pesada enfocados a la producción, rendimiento y rentabilidad del cultivo de

arroz (*Oryza sativa* L.) y comprender cómo afectan los costos de establecimiento del cultivo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de la agricultura es muy importante, ya que, abastece de alimento a toda la población, esto gracias a los avances de fitomejoramiento, nuevas tecnologías en el campo agrícola y al efecto positivo de la labranza cuando se usa con responsabilidad. Las bondades nutricionales del arroz han trascendido por su importancia, dado que esta gramínea es la que mayor aporte calórico brinda de todos los cereales (Leverón, 2020)

En Colombia, el arroz ocupa el primer lugar de importancia económica dentro del cultivo de cereales, posicionando al país en el segundo lugar en Latinoamérica (FAO, 2021). El almidón es el componente principal del grano de arroz, y se encuentra en un rango del 70% al 80%. El arroz posee más lisina que el trigo, maíz y sorgo. Además, de una ración de 100 gramos de arroz blanco cocido, se puede obtener 125 calorías aproximadamente, pudiendo alcanzar las 140 calorías si se consume cocido al vapor (Bernardi, 2017).

El rendimiento potencial de las variedades depende del componente genético, el manejo agronómico y las condiciones del clima de cada zona arroceras, las cuales han mostrado variabilidad a través del año, asociada principalmente a la variación en los valores de radiación solar. Dicha variación puede oscilar entre el 20 y 50%, con las consecuentes reducciones del rendimiento de cultivo, que pueden alcanzar hasta un 40% aproximadamente (Petro, 2021).

Varios expertos, definieron la labranza convencional como “un sistema que se basa en varias pasadas por un lote, dejando pocos o ningunos residuos (0-5%) en la superficie del suelo”. Lo anterior significa que la siembra se realiza en un terreno sin obstáculos, utilizando una sembradora convencional. En este tipo de labranza se realizan comúnmente las labores de labranza primaria (arado) y labranza secundaria (rastra). Algunas veces se realiza también la labor de pre-labranza al tener que aplicar el subsolado en terrenos compactados o la chapeadora en terrenos con malezas en cantidades significativas, donde no se pueden usar otros implementos convencionales debido al exceso de malas hierbas. (Cháves et al. 2017).

En los sistemas de cultivo mecanizado el uso continuo de implementos de labranza, especialmente los arados y rastras de discos, los arados de vertedera y los rotovadores durante largos períodos, frecuentemente repercuten en la formación de pisos de arado densos que contienen pocos poros grandes capaces de ser penetrados por las raíces de los cultivos. El piso de arado se desarrolla debajo de la profundidad a la cual el suelo es labrado y con frecuencia presenta superficies superiores lisas con poros sellados causados por la acción de frotación de la reja y el talón de los arados de vertederas. El grado de compactación depende de la presión ejercida por los implementos sobre el suelo (Pinto Falconi, 2020).

Durante los últimos años, debido a los problemas del deterioro del suelo provocado por la labranza convencional, es necesario implementar y desarrollar los sistemas de manejo de suelos, que sean económicos, productivos y contribuyan a controlar la salud del suelo (Muñoz,2016; Mendoza Moreno, 2021). La degradación física representa al deterioro de las condiciones del suelo por agentes naturales provocadas por el manejo agrícola y que causan afectaciones en los sistemas productivos a través de la erosión antropocéntrica, hídrica y eólica que deterioran la estructura del suelo generándose costras de sellado, compactación e hidromorfía. (Hernández Jiménez, et al., 2017).

Es por eso que el tránsito de maquinaria agrícola en el cultivo de arroz compacta el suelo y lo degrada; lo cual afecta la sostenibilidad y productividad del suelo y el cultivo por la pérdida de agua y aire, y esto disminuye el desarrollo radical. Además, como se trata de hacer dos cosechas por año, una en época lluviosa y otra en la seca, para iniciar el cultivo de la época seca se mecaniza a final del verano con suelo secos, pero que se cosecha en condiciones de mucha humedad en el suelo lo que implica tránsito de cosechadora, tractor y remolque amasando el suelo con sus ruedas, esto deja muchas huellas las cuales se deben corregir con la mecanización (Rodríguez & Valencia, 2012).

Por ello, un punto de partida importante para la intensificación sostenible de la producción es la conservación de la estructura del suelo y de su contenido de materia orgánica mediante la limitación de la alteración mecánica del suelo en el proceso de arraigo del cultivo y de su posterior gestión.

Expresado lo anteriormente se puede plantear el siguiente interrogante: ¿Se puede implementar un manejo relacionados con los sistemas de labranza agrícola en el cultivo de arroz, enfocadas a la conservación de las propiedades fisicoquímicas del suelo?

2. JUSTIFICACIÓN

El suelo constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la explotación agropecuaria. La producción de alimentos depende en un alto porcentaje del uso que se les dé el mismo, concurriendo que es un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irremplazable, desarrollado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sostener el crecimiento de los organismos y los microorganismos (Valero Mora, 2020).

La inundación de los suelos arroceros proporciona un ambiente favorable para las bacterias anaerobias, produciéndose así cambios bioquímicos variados y numerosos; estos cambios en la flora causan modificaciones bioquímicas en el suelo, que determinan en gran medida la fertilidad, además de provocar el fenómeno de solubilización, mineralización, inmovilización, oxidación y reducción (Afriani et al., 2020).

Muñoz Lozada (2016), asegura que la degradación de las características y propiedades físicas del suelo es una de las principales limitaciones en los suelos agrícolas, por lo que hace necesario implementar prácticas de manejo orientadas a su recuperación. La importancia en la actualidad sobre la conservación del medio ambiente nos conlleva a la revisión de los sistemas de labranza de los suelos con relación a los niveles de afectación de este recurso. La labranza tradicional o convencional no debe constituir la única alternativa que poseen los agricultores a la hora de realizar la preparación de sus terrenos, surgida esta preocupación se han desarrollado sistemas de labranza conservacionistas como lo es la labranza reducida, la cual ayuda a disminuir los costos de producción y mantener las características del suelo, favoreciendo el desarrollo y producción de los cultivos (Valero Mora, 2020).

Al no usar maquinaria pesada y arados de discos, se protege eficazmente el suelo, ayuda en la prevención de procesos erosivos y en la disminución de la compactación, favoreciendo así la penetración de raíces, la absorción de nutrientes y la retención de agua, que le facilitan a las plantas su aprovechamiento en el momento en que la requieran. Esta práctica propicia la multiplicación de la micro y macro fauna del suelo, que es indispensable para la descomposición de materia orgánica y su posterior asimilación por parte de las plantas (Contexto ganadero, 2018). De igual manera, la labranza cero o siembra directa permite el desarrollo de cultivos sin preparación mecánica o alteración del terreno desde el cultivo anterior. El sistema de siembra directa afloja el suelo en un área estrecha y poco profunda inmediatamente alrededor de la zona de las semillas. La perturbación localizada se efectúa con un plantador de conservación o sembradora y se hace sobre todo en suelos de textura gruesa como arenas o gravas, o en suelos bien drenados que son menos susceptibles a la compactación (Delgado García, 2021).

Mientras los sistemas de suelo de labranza mínima con arado, cincel o grada rotativa son alternativas polivalentes para la preparación básica, preparación del lecho de germinación y siembra, para campos y cultivos con requisitos moderados mediante tecnologías de activación y racionalización de la fertilidad natural del suelo, reducción de la erosión, la capacidad de acumulación de agua y realización de la siembra en el período óptimo (FAO, 2020).

Por otro lado, la estimación del área cosechada durante el primer semestre de 2022 fue 151.273 hectáreas para el total nacional. Esto corresponde al resultado obtenido del área sembrada de segundo semestre de 2021, con un total nacional de 151.988 hectáreas, menos el área perdida registrada en el primer semestre de 2022, que tuvo un total nacional de 715 hectáreas (DANE, 2022).

Dicho lo anterior, relacionado con el total nacional de hectáreas sembradas en arroz, sugiere un alto número de labores mecanizadas que requiere el cultivo considerando que necesita de dos a tres pases de rastra pesada, un pase de rastillo, un pase de land plane o cuchilla niveladora, siembra con boleadora o sembradora en líneas, caballoneo sencillo o taipa, cosechadora de granos (combinada), Acarreo del grano con tractor más remolque. En total son entre ocho y nueve pases de tractor en campo que provocan daños al suelo, ya sea disgregando, transitando o afirmando el suelo. La profundidad de mecanización no es la ideal para obtener un 100% en el desarrollo del sistema radicular del arroz tanto la longitud como en volumen, debido a que se penetra en el suelo máximo 18 cm, el equipo más utilizado para labrar el suelo a una mayor profundidad es la rastra pesada, con un diámetro de discos de 26 pulgadas, los cuales solo penetran un tercio de su diámetro 22 cm en la mayoría de los casos nunca se llega a tal profundidad solamente a 18 cm cuando el implemento se encuentra con poco desgaste; a medida que se utilice un equipo con más horas de uso la profundidad puede llegar a 12 cm (FEDEARROZ et al., 2018)

Es por eso que el desarrollo de esta investigación tiene como finalidad evaluar cuatro sistemas de labranza enfocados a la producción, rendimiento y rentabilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*)

3. MARCO TEORICO

3.1 ORIGEN DEL ARROZ

El cultivo del arroz comenzó hace casi 10.000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Posiblemente sea la India el país donde se cultivó por primera vez el arroz, debido a que en ella abundaban los arroces silvestres. Pero el desarrollo del cultivo tuvo lugar en China, desde sus tierras bajas a sus tierras altas. Probablemente hubo varias rutas por las cuales se introdujeron los arroces de Asia a otras partes del mundo. Los últimos hallazgos arqueológicos en yacimientos de China han puesto al descubierto glumas de arroz que podrían datarse entre el año 2750 y el 3280 A.C. De este modo, la extendida creencia de que el *Oryza sativa* era el origen del arroz (2.500 A.C. en la India) ha quedado desplazada. En realidad, las últimas investigaciones apuntan a que la planta del arroz parece tener un origen mucho más anterior a lo que se creía hasta la fecha (Bernis & Pàmies, 2004).

Existen dos especies cultivadas, a pesar de que la consideremos una única planta: la variedad asiática y la africana. Ambas han sufrido su propio camino de domesticación. En la variedad asiática se han seleccionado y buscado granos de mayor tamaño hasta obtener la especie *Oryza sativa*, que dio origen a tres razas diferentes: Índica, Japónica y Javánica. Los actuales cultivos de *Oryza sativa* se obtienen a través de cruzamientos y combinaciones interraciales y se distribuyen por todo el mundo. La variedad africana, *Oryza glaberrima*, que presenta una menor diversidad, se obtuvo a partir de dos especies silvestres (Bernis & Pàmies, 2004).

3.2 TAXONOMÍA DEL ARROZ

El arroz pertenece a las Fanerógamas, tipo Espermatofitas, subtipo Angiospermas, clase Monocotiledóneas, orden Glumifloras, familia Gramíneas, subfamilia Panicoideas, tribu Oryzae, subtribu oryzineas, genero *Oryza*. (Degiovanni et al., 2010).

3.2.1 Genero *Oryza*. Las distintas especies *Oryza sativa* L. se consideran tres grupos o tipos de arroz: Indica, japónica, y Javánica o bulú. Su origen estaría en la selección hecha, bajo diferentes ambientes del arroz silvestre en los procesos de domesticación (Degiovanni et al., 2010).

Las variedades tradicionales del tipo indica que se cultivan en los trópicos tienen características como mayor altura que otras variedades, macollamiento denso, hojas largas e inclinadas de color verde pálido, y grano de mediano a largo. Estos granos tienen un contenido de amilosa entre medio y alto que les da un aspecto seco y blando, y los hace poco aptos para desintegrarse en la cocción. (Degiovanni, et al., 2010).

Las variedades tipo Japónica tienen hojas erectas de color verde intenso y una capacidad de macollamiento menor que las de las variedades tipo indica, tienen mayor respuesta al nitrógeno (medida en rendimiento) que éstas, son insensibles al fotoperiodo y toleran las bajas temperaturas. Sus granos son cortos y anchos y su contenido de amilosa es bajo haciéndolo pegajoso (Degiovanni et al., 2010).

Las variedades de tipo Javánica son morfológicamente similares a la japónica, pero sus hojas son anchas y pubescentes, emiten pocas macollas y la planta es fuerte y rígida. Son insensibles al fotoperiodo y sus granos son aristados (Degiovanni et al., 2010).

3.3 MORFOLOGÍA

3.3.1 Raíces. Inicialmente, son gruesas y poco ramificadas; a medida que la planta crece se tornan alargadas y con ramificaciones abundantes. Posee dos tipos de raíces: seminales, que se originan de la radícula y son de naturaleza temporal y las raíces adventicias secundarias, que tiene una libre ramificación y se forman a partir de los nudos inferiores del tallo joven. Éstas últimas sustituyen a las raíces seminales (Nakandakari, 2017). El arroz desarrolla raíces seminales, del mesocotilo y nodales. El sistema radicular del arroz está formado básicamente por raíces adventicias. En cada nudo se desarrollan usualmente entre 5 y 25 raíces. Las raíces que crecen directamente de la región nodal del tallo principal se llaman raíces primarias. Con el avance del crecimiento las raíces primarias se desarrollan raíces secundarias y estas a su vez desarrollan raíces terciarias y así sucesivamente (Figura 1).



Figura 1. Tipos de raíces. Fuente: Nakandakari (2017)

3.3.2 Tallo. La altura de la planta de arroz es una función de la longitud y número de los entrenudos, tanto la longitud como el número de los entrenudos, son caracteres varietales definidos, el medio ambiente, puede variarlos, pero en condiciones semejantes tienen valores constantes. En la figura 2, se observa que el número total de nudos en el tallo principal es igual al número de hojas del tallo más dos, que corresponden al nudo del coleóptilo y al de la panícula; un tallo con sus hojas forma una macolla, éstas se desarrollan en orden alterno en el tallo principal. Las macollas primarias se desarrollan de los nudos más bajos, y a la vez producen

macollas secundarias; y estas últimas producen macollas terciarias, el conjunto de macollas y el tallo principal forman la planta. El número total de macollas es una característica varietal, que puede variar según el sistema de cultivo y el medio ambiente (CIAT, 2005; Degiovanni et al., 2010; Villalba, 2016; Villabal et al., 2017; Nakandakari, 2017)

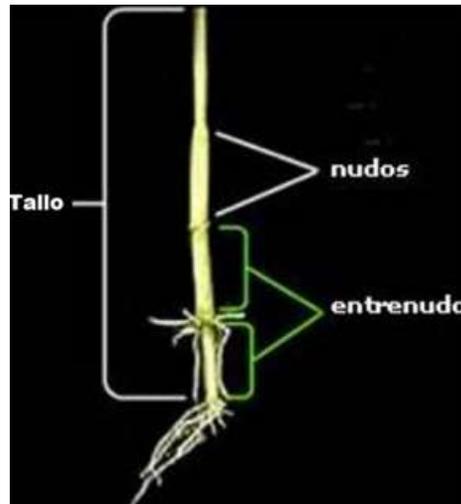


Figura 2. Tallo, nudo y entrenudos. Fuente: Nakandakari (2017)

3.3.3 Macollamiento. Las macollas son los tallos que se desarrollan a partir de las yemas de la base de las hojas en cada nudo elongado del tallo principal durante el crecimiento vegetativo. Estas macollas primarias dan origen a macollas secundarias y estas a su vez finalmente dan origen a macollas terciarias. El macollamiento inicia cuando surge la cuarta hoja del tallo principal, la primera hoja de la macolla proviene de la axila de la primera hoja en el tallo. Del mismo modo, cuando la quinta hoja del tallo principal surge, la primera hoja de la macolla proviene de la axila de la segunda hoja en el tallo. Por lo tanto, la hoja en el tallo principal y la primera hoja de la macolla que se desprende de la axila de la hoja (n-3) crecen de forma sincrónica. Esta regla se aplica no sólo al tallo principal, sino también a todas las macollas. En el tallo principal el coleóptilo y la primera hoja normalmente no producen macollas; el macollamiento por lo general comienza a partir de la segunda hoja. Todas las yemas de los tallos no necesariamente se desarrollan en macollas. Algunos pueden permanecer en estado latente. Algunos factores tales como: la densidad de siembra, intensidad lumínica, disponibilidad de nutrientes y otras condiciones ambientales y culturales afectan el macollamiento. En arroz trasplantado unos 10-30 tallos se pueden producir con un espaciamiento convencional pero sólo 2-5 se puede formar en la siembra directa del arroz (Nakandakari, 2017; Villabal et al., 2017; Villalba, 2016)

3.3.4 Hojas. Son alternas y están dispuestas a lo largo del tallo. Está constituida por vaina, zona de unión y lámina. En el punto de reunión de la vaina y el limbo se encuentra una lígula membranosa, bífida y erguida que presenta en el borde inferior una serie de cirros largos y sedosos. La vaina foliar, que envuelve el entrenudo

inmediato superior, se desarrolla en longitud en correlación con la dimensión del entrenudo; lo abraza más o menos ampliamente según las características varietales. La vaina gruesa y corta que circunda todo el entrenudo, también corto, indica una elevada resistencia al encamado. En el punto de articulación de la vaina con el limbo foliar se diferencia la lígula y las aurículas; a veces se nota la ausencia de la lígula, como expresión genética particular. Durante las fases vegetativas se forman tantas hojas como entrenudos no hipogeos. A medida que avanza el desarrollo de las plantas, las primeras hojas formadas terminan su función vegetativa y se secan. Después de la floración cada tallo presenta sólo 4-7 hojas. El limbo foliar es más o menos pubescente, o incluso nada pubescente; tiene un porte más o menos erecto y forma un ángulo con la vaina, variable según su posición en la planta y la variedad. La última hoja se llama "bandera" u hoja panicular; a veces permanece erecta durante la floración y se inclina sólo en la maduración completa, como se puede observar en la Figura 3. Las hojas situadas en la base del tallo, ejercen una acción trófica esencialmente a favor del aparato radicular; la hoja bandera y la penúltima desempeñan, en mayor medida que las otras, un papel muy importante para la formación de la panícula y de los granos (Franquet y Borrás, 2004; Villalba, 2016; Nakandakari, 2017).



Figura 3. Hoja bandera, cuello con lígula y aurícula. Fuente: Nakandakari (2017)

3.3.5 Panícula. La panícula está situada sobre el nudo apical del tallo, denominado nudo ciliar, cuello o base de la panícula; frecuentemente tiene la forma de un aro ciliado. El nudo ciliar o base de la panícula generalmente carece de hojas y yemas, pero allí pueden originarse la primera o las cuatro primeras ramificaciones de la panícula, y se toma como punto de referencia para medir la longitud del tallo y la de la panícula. El entrenudo superior del tallo en cuyo extremo se encuentra la panícula se denomina pedúnculo. Su longitud varía considerablemente según la variedad de arroz; en algunas variedades puede extenderse más allá de la hoja bandera o quedar encerrado en la vaina de ésta. El raquis o eje principal de la panícula es hueco, de sus nudos nacen las ramificaciones. Las protuberancias en la base del raquis se denominan pulvínulos paniculares. En cada nudo del eje principal nacen, individualmente o por parejas, ramificaciones, las cuales a su vez dan origen a ramificaciones secundarias de donde brotan las espiguillas. Las panículas pueden

clasificarse en abiertas, compactas e intermedias, según el ángulo que formen las ramificaciones al salir del eje de la panícula. Tanto el peso como el número de espiguillas por panícula cambian según la variedad (CIAT, 2005; Degiovanni et al., 2010; Villalba, 2016; Villabal et al., 2017; Nakandakari, 2017).

3.3.6 Espiguilla. Están formadas por un pequeño eje llamado raquis, sobre el cual se encuentra una flor simple, formada por dos brácteas denominadas glumas estériles, dos brácteas superiores, llamadas glumas florales, que constituyen la caja floral (CIAT, 2005). Esta se inserta en el pedicelo, como se puede observar en la Figura 4, con un tallo corto que es una extensión del eje de la panícula y la rama primaria o secundaria. Hay dos glumas cortas rudimentarias en el extremo superior del pedicelo. Un par de lemas estériles y la raquilla se encuentran entre las glumas rudimentarias y la espiguilla. La flor está encerrada en el lema y la palea, que puede ser con aristas o sin aristas (Degiovanni et al., 2010; Villalba, 2016; Nakandakari, 2017)

3.3.7 Flores. La flor consta de seis estambres y un pistilo. Los estambres son filamentos delgados que sostienen las anteras alargadas y bífidas, las cuales contienen los granos de polen. En el pistilo se distinguen el ovario, el estilo y el estigma. El ovario es de cavidad simple y contiene un sólo óvulo. El estilo es corto y termina en un doble estigma plumoso. Las lodículas son dos protuberancias redondeadas y transparentes que se encuentran en la base de la flor, al lado de la palea. Durante la antesis las lodículas se ponen turgentes logrando que el lema y la palea se separen, simultáneamente se alargan los estambres y las anteras emergen, la dehiscencia de las anteras puede efectuarse antes o al mismo tiempo en que se abren las glumas, mostrando tendencia a la cleistogamia (Figura 1.3). Después de que las anteras hayan derramado el polen las glumas se cierran (Degiovanni et al., 2010; Villalba, 2016; Nakandakari, 2017)



Figura 4. Estructura de una espiguilla. Fuente: Nakandakari (2017)

3.3.8 Maduración y senescencia. El período de maduración se caracteriza por el crecimiento del grano, aumento de tamaño y peso, cambios en el color del grano, y la senescencia de las hojas. En las primeras etapas de la maduración, los granos

son de color verde, los cuales se vuelven amarillos a medida que maduran. La textura de los granos varía de un estado lechoso semifluido a un sólido duro. Sobre la base de estos cambios el período de maduración se subdivide en lechoso, pastoso y madurez. Antes de la floración una considerable cantidad de almidón y azúcar se acumula en los tallos y vainas de las hojas, estos carbohidratos acumulados se translocan a los granos durante la maduración. La senescencia de las hojas se inicia desde las hojas inferiores y se extiende hacia arriba a medida que la planta madura, la senescencia de las hojas es más rápida en indica que en los arroces japónica y en las regiones cálidas que en las regiones frías. En las regiones frías algunas hojas permanecen verdes incluso en la madurez. La relación entre la tasa de senescencia de las hojas y el llenado del grano es compleja (Degiovanni et al., 2010; Villalba, 2016).

3.4 LAS FASES DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL ARROZ

El ciclo de vida del cultivo del arroz puede ser dividido en tres grandes fases: Vegetativa, Reproductiva y de Maduración. A su vez, estas fases de crecimiento pueden ser divididas en etapas fenológicas, las cuales determinan el estado de desarrollo del cultivo. En cada fase de crecimiento se determinan los diferentes componentes del rendimiento del cultivo. El ciclo de vida del cultivo del arroz puede ser dividido en tres grandes fases:

Vegetativa, Reproductiva y de Maduración. A su vez, estas fases de crecimiento pueden ser divididas en etapas fenológicas, las cuales determinan el estado de desarrollo del cultivo. En cada fase de crecimiento se determinan los diferentes componentes del rendimiento del cultivo. La incidencia de clima y el manejo agronómico serán determinantes para que la planta pueda expresar todo su potencial genético en la definición de cada componente. agronómico serán determinantes para que la planta pueda expresar todo su potencial genético en la definición de cada componente (FEDEARROZ et al., 2018).

El resumen de las fases de crecimiento y las etapas fenológicas que atraviesa el cultivo del arroz, se presentan en la figura 5. El resumen de las fases de crecimiento y las etapas.



Figura 5. Fases y Etapas Fenológicas de la planta de Arroz. Fuente: Fedearroz (2018).

3.4.1 Fase Vegetativa. Se inicia con la germinación de la semilla y termina con la diferenciación del primordio floral. En ella se determina el número de macollas que tendrá el cultivo, del cual depende el número de panículas por unidad de área. La duración de esta fase puede variar, de acuerdo a la variedad y al clima. En términos generales, tiene una duración entre 35 y 50 días. La diferencia en el ciclo de vida entre una u otra variedad, está determinada por la mayor o menor duración de la fase vegetativa (FEDEARROZ et al., 2018).



Figura 6. Macollamiento de la planta de arroz. Fuente: FEDEARROZ (2018)

3.4.2 Fase Reproductiva. Se inicia con la diferenciación del primordio floral y termina con la floración del cultivo, como se observa en la Figura 7. En esta fase se determina el número de espiguillas que tendrá cada panícula. Su duración oscila entre 30 y 35 días. Esta fase solo es visible cuando abrimos la planta e internamente vemos su desarrollo (FEDEARROZ et al., 2018).



Figura 7. Planta de arroz terminando la fase reproductiva. Fuente: Fedearroz (2018)

3.4.3 Fase de Maduración. Inicia con la etapa de floración y termina con la madurez del grano. En esta fase se determina cuántas espiguillas se convertirán en granos efectivos y el peso individual de cada uno de ellos, como se observa en la Figura 8. Su duración oscila entre 30-45 días dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas. (FEDEARROZ et al., 2018).



Figura 8. Fase de Maduración del cultivo de arroz. Fuente: Fedearroz (2018).

Las etapas de desarrollo de la planta de arroz se identifican muy fácilmente y en ellas ocurren cambios fisiológicos de gran importancia para el ciclo de vida de la planta. Algunas etapas pueden llegar a traslaparse como es el caso del macollamiento y la elongación del tallo, dependiendo de la variedad sembrada y las condiciones ambientales (Fedearroz, 2018).

3.5 ETAPAS FENOLÓGICAS DEL ARROZ

3.5.1 Etapa 0. Germinación a emergencia de la semilla. Esta etapa se inicia con la siembra de la semilla bien sea seca, pregerminada, tapada o destapada hasta la aparición de la primera hoja a través del coleóptilo. (FEDEARROZ et al., 2018).



Figura 9. Partes de una semilla de arroz. Fedearroz (2018)

3.5.2 Etapa 1. Estado de plántula. Esta etapa comprende desde la emergencia hasta antes que aparezca la primera macolla en la planta de arroz (4-5 hojas). Inicialmente, la plántula de arroz depende totalmente de la energía, de los minerales y proteínas de la semilla. A partir del séptimo día de la germinación la planta comienza a absorber nutrientes por las raíces y las hojas capturan la luz del sol para realizar fotosíntesis, proceso mediante el cual la planta fabrica su propio alimento. Esta etapa comprende desde la emergencia hasta antes que aparezca la primera macolla en la planta de arroz (4-5 hojas). Inicialmente, la plántula de arroz depende totalmente de la energía, de los minerales y proteínas de la semilla. A partir del séptimo día de la germinación la planta comienza a absorber nutrientes por las raíces y las hojas capturan la luz del sol para realizar fotosíntesis, proceso mediante el cual la planta fabrica su propio alimento.

Durante las etapas iniciales del cultivo, en promedio, cada 5 días se emite una nueva hoja completa (con vaina y lámina), y a partir del inicio de primordio floral se emite cada 7 a 8 días. Durante las etapas iniciales del cultivo, en promedio, cada 5 días se emite una nueva hoja completa (con vaina y lámina), y a partir del inicio de primordio floral se emite cada 7 a 8 días. (Fedearroz et al., 2018)

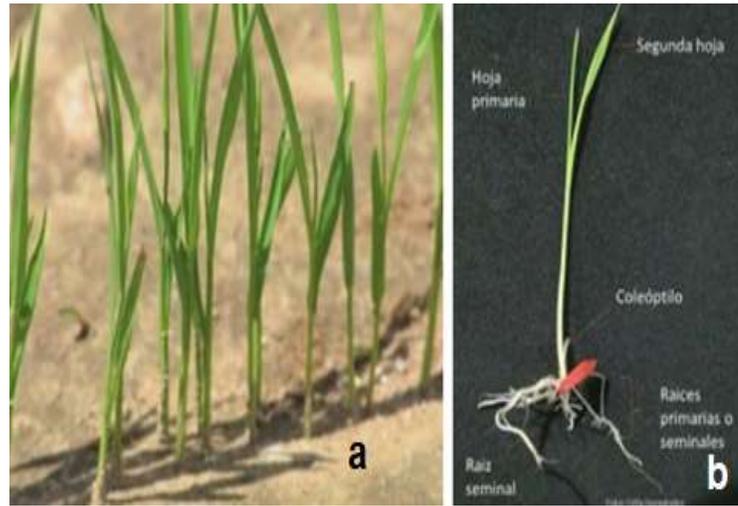


Figura 10. Estado de plántula (a) y las partes de la plántula (b). Fuente: FEDEARROZ (2018).

3.5.3 Etapa 2. Macollamiento. Esta etapa comienza cuando la planta emite su primer hijo o macolla y termina cuando desarrolla el máximo número de ellos. En esta etapa de desarrollo se determina el segundo componente del rendimiento que es el número de panículas por unidad de área (m²) dado por la formación de las macollas efectivas. En esta etapa de desarrollo se determina el segundo componente del rendimiento que es el número de panículas por unidad de área (m²) dado por la formación de las macollas efectivas (Figura C y D). El potencial de macollamiento de una variedad es una característica genética pero su expresión en el campo dependerá de varias prácticas de manejo agronómico.



Figura 11. Inicio de Macollamiento de la planta de arroz. (C). Finalización de Macollamiento (D).

3.5.4 Etapa 3. Elongación de tallo (simultánea al inicio de primordio floral). Esta etapa de desarrollo marca el final de la fase vegetativa y el inicio de la fase reproductiva. Se inicia con la diferenciación del meristemo en el punto de crecimiento del tallo y termina con la aparición de una pequeña estructura cónica plumosa y blanquecina de tamaño 1-2 centímetros que es el primordio floral, que solo es visible unos 8-10 días después de su iniciación. (FEDEARROZ et al., 2018)



Figura 12. Corte longitudinal de un tallo de arroz con el entrenudo elongado. (Fedearroz, 2018)

3.5.5 Etapa 4. Desarrollo de panícula - embuchamiento. Esta etapa empieza cuando la panícula diferenciada es visible y termina cuando el extremo de las florecillas esta justamente debajo del cuello de la hoja bandera. Durante esta etapa se produce la diferenciación de las espiguillas las cuales conforman el segundo componente de rendimiento del arroz. (FEDEARROZ et al., 2018)



Figura 13. Dos estados de la panícula en desarrollo (Fase reproductiva). Foto: Gabriel Garcés (Fedearroz, 2018).

3.5.6 Etapa 5. Espigamiento. Corresponde al momento de la salida de la panícula al exterior. Termina en el momento en el que las anteras son expuestas, proceso conocido como antesis. (FEDEARROZ et al., 2018)



Figura 14. Etapa de espigamiento del arroz. (Fedearroz, 2018)

3.5.7 Etapa 6. Floración. Esta etapa marca el término de la fase reproductiva y el inicio de la fase de maduración. La floración se inicia con la apertura de las espiguillas, que es seguida por la antesis o salida de las anteras en el tercio superior de la panícula. Las anteras en el tercio medio e inferior abren en los días sucesivos, el proceso continúa con la caída del polen que, al depositarse en el estigma, llega al ovario y lo fertiliza. La etapa de floración, al interior de una panícula, tiene una duración de unos 7 días. La mayor parte del proceso de antesis se produce entre las 9 a.m. y 12 M. Durante esta etapa las condiciones ambientales juegan un papel importante en la fertilización de las flores: vientos cálidos, secos o húmedos, afectan seriamente la fecundación los estigmas, reduciendo considerablemente el rendimiento. Temperaturas excesivamente bajas o altas del agua riego del aire, inferior a 18 grados centígrados o superiores a 34 grados centígrados, pueden causar el mismo efecto al evitar que las flores abran y se polinicen. Durante esta etapa de desarrollo la planta de arroz alcanza su máxima altura y el crecimiento cesa en los órganos vegetativos como raíz, tallos y hojas. (FEDEARROZ, 2018)

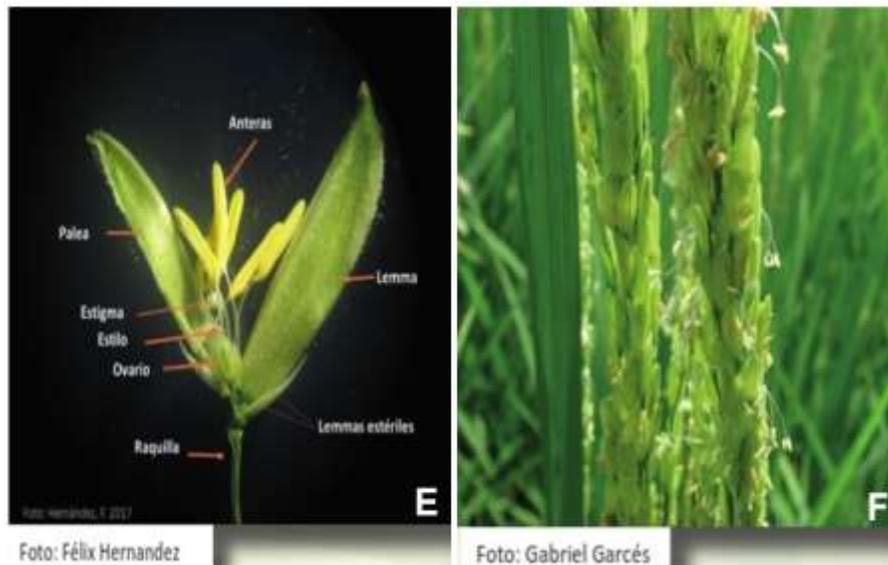


Figura 15. Florecilla de arroz y sus partes (E) y espiguillas en floración (F) Fuente: Fedearroz (2018).

3.5.8 Etapa 7. Grano lechoso-pastoso (llenado de grano). Esta etapa va desde el inicio de la antesis y la fecundación del ovario hasta que el contenido de los granos se llena, principalmente, con los carbohidratos (líquido lechoso) producidos en el proceso de fotosíntesis realizado por la hoja bandera y las dos hojas siguientes. Cerca de un 20-30% del llenado de la panícula corresponde al movimiento (removilización) de carbohidratos que han sido almacenados temporalmente en los tallos y las vainas de las hojas. A los cinco días después de la antesis los granos aún son de color verde. La panícula cuando se sostiene vertical se dobla en arco a 90° por el peso de los granos en el tercio superior de la panícula. Posteriormente, la consistencia del grano se hace gradualmente pastosa suave, hasta que se endurece. El color del grano se torna amarillo verdoso. La panícula dobla su punta en arco de 180 grados y las ramas de la mitad del raquis a 90 grados formando un arco en su punta debido a que sus granos se incrementan en peso. Al finalizar esta etapa la planta alcanza su madurez fisiológica y en este momento el grano posee su máximo peso, calidad molinera y germinación, pero debido al alto contenido de humedad del grano aún no puede cosecharse (Fedearroz, 2018).



Figura 16. Panículas en etapa de llenado de grano. (Fedearroz 2018)

3.5.9 Etapa 8. Grano maduro. Esta etapa ocurre 30-40 días después de la antesis o floración cuando la panícula, por el peso de los granos, se encuentra a 180 grados colgando del tallo. La hoja bandera y la siguiente pueden permanecer verdes o toman un color verde pálido de acuerdo a la variedad sembrada. Las espiguillas que no llenan conservan su color verde. Se considera la planta fisiológicamente madura cuando el 90% de los granos han madurado y muestran un color amarillo pajizo. La producción de materia seca ha cesado y puede presentarse una pequeña disminución lo cual se acentúa al sobre madurar el grano por la dehiscencia del mismo. Es importante realizar la cosecha en el momento oportuno que garantice la máxima productividad y calidad molinera del grano; los contenidos de humedad del grano para la recolección se encuentran entre 22-25.



Figura 17. Plantas de arroz en etapa de grano maduro. Fuente Fedearroz (2018).

3.6 VARIEDAD FEDEARROZ 2020

Descripción de la variedad: Nombre Experimental: FPA1368-MA-2I-1A-4S-MA Progenitor femenino: PB12B0206 Progenitor masculino: Fedearroz 2000 Año de Cruzamiento: 2014. Características de la planta: altura de la planta: 90 a 100 cm. Tipo de planta: Semicompacta Hábito de crecimiento: erecto Macollamiento: Intermedio – Alto. Hoja bandera: sobrepasa la panícula. Senescencia: intermedia. Reacción a desgrane: tolerante. Exersión de panícula: 2,0 a 4,0 cm. Granos por panículas: 88.8. Longitud de panícula: 25 a 31 cm. Características de la semilla: longitud: 7,6 – 8,6 mm, ancho: 2,0 – 3,0 mm, espesor: 1,6 – 2,2 mm, Índice de semilla: 34.000–37.000 granos/kg de semilla. Los requerimientos nutricionales de esta variedad son: Nitrógeno: 19 a 22 kg/Ton Potasio: 20 a 25 Kg/Ton Fósforo: 3 a 5 Kg/Ton (FEDEARROZ, 2022).

3.7 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

Los requerimientos nutricionales por cada tonelada de arroz producida presentan alta variabilidad dependiendo del ambiente, siendo indispensable para el agricultor poseer un adecuado plan de fertilización para el cultivo dependiendo del ambiente donde se cultive. En el caso de los nutrimentos NPK se tiene que para Nitrógeno (N) el rango va de 20 a 25 kg/ton, Fósforo (P) entre 1.5 a 8.5 kg/ton, y Potasio (K) de 15 a 25 kg/ton de arroz paddy. Con relación a Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) se tiene que Ca esta entre 5.3 a 8.7 kg/ton, Mg 2.2 a 6.4 kg/ton y S 2,6 a 6,8 kg/ton de arroz Paddy (FEDEARROZ et al., 2019).

Los micronutrientes presentan más variabilidad entre las épocas de mayor y menor oferta ambiental, comprendiéndose que a mejor oferta ambiental mayor demanda de nutrimentos, sin embargo, es necesario tener en cuenta el máximo potencial de producción en cada zona, porque si la interacción genotipo – ambiente no permite mayores rendimientos, de esa forma, por más fertilizantes que aplique no se puede incrementar producción. Los requerimientos de Zinc están entre 24 a 300 g/ton, Cobre 14 a 270 g/ton, Boro 2.9 a 10 g/ton, Hierro 90 a 2600 g/ton y Manganeso de 51 a 2300 g/ton. Esta información permite concluir que existen elementos más sensibles que otros con relaciona los cambios de ambiente, y también hace suponer por lo tanto que es necesario tenerlos muy en cuenta en las épocas de menor oferta ambiental. Por lo tanto, la labor de la fertilización busca obtener una mayor eficiencia fisiológica de la planta en los ambientes, lo cual se traduce en mayor productividad (FEDEARROZ et al., 2019).

3.8 PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de

las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004).

3.8.1 Textura. La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks et al., 2004).

3.8.2 Porosidad. El crecimiento de las plantas, del que depende su producción económica, está determinado por factores atmosféricos, biológicos y edáficos. La porosidad, se expresa como el porcentaje del volumen del suelo ocupado por poros. Lo que es lo mismo, el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Supóngase que en 10 cm^3 de suelo existen $4,5 \text{ cm}^3$ no ocupados por sólidos. La porosidad total de este suelo será 45 por ciento (Rucks et al., 2004).

3.8.3 Densidad Aparente. La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso (Pinot, 2000). Para medir la densidad aparente se retira del campo una muestra de suelo de volumen conocido y se seca en el horno a 105°C , hasta que alcanza un peso constante. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso seco del suelo por el volumen que ocupaba en el campo (Rubio Gutiérrez, 2010).

$$D. a. (g. \text{cm}^{-3} \text{ o } \text{Mg}/\text{m}^{-3}) = \frac{\text{peso de los sólidos de la muestra o peso seco}}{\text{Volumen de los sólidos} + \text{Volumen de los poros}}$$

En el suelo, por ser éste un cuerpo poroso, se presentan dos situaciones diferentes con respecto a la densidad: si se considera la masa de las partículas sólidas, únicamente, se tiene la densidad real, pero si, aparte de la masa de las partículas, se tiene en cuenta su organización, entonces se tiene la densidad aparente (Deagustini et al., 2017).

El método del cilindro dinámica método es un proceso sencillo y consiste en tomar un volumen fijo de suelo sin perturbar y pesarlo una vez seco, por calentamiento en el horno a 105°C durante 24 horas. Para ello se suele utilizar un cilindro metálico con un volumen conocido. En uno de sus extremos se le coloca un cabezal cilíndrico, que se irá golpeando con un mazo de goma para poder presionar e introducir el cilindro o anillo toma de muestras dentro del suelo sin afectar a la muestra (Rubio Gutiérrez, 2010).

3.8.4 Consistencia. Es el término que designa las manifestaciones de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión, actuando dentro del suelo a varios contenidos de humedad. Estas manifestaciones incluyen el comportamiento con respecto a la

gravedad, presión y tensión, la tendencia de la masa del suelo de adhesión a cuerpos extraños o sustancias y las sensaciones que son evidenciadas y sentidas por los dedos del observador (Rucks et al., 2004).

3.8.5 Resistencia a la penetración. La resistencia a la penetración es un indicador del nivel de compactación de un suelo. La compactación limita el crecimiento radicular y la cantidad de aire y agua de que disponen las raíces (Herrick y Jones, 2002; Lampurlanés y Cantero-Martínez, 2003).

3.8.6 Infiltración. según Selker et al. (1999), el método del doble anillo es la prueba más común para la estimación de propiedades hidráulicas del suelo. Esta técnica da valores de “tasa de infiltración” en unidades de volumen de agua por unidad de tiempo y superficie de suelo. Es aplicable en casi todo tipo de terreno, sin exceso de pedregosidad o de raíces grandes próximas a la superficie. La capacidad de infiltración disminuye con el tiempo según el suelo se va saturando de agua, de forma que después de un tiempo suficiente, se aproxima a un valor constante próximo a la conductividad hidráulica saturada (Moreno Merino et al., 2008).

3.9 PREPARACIÓN DEL SUELO PARA EL CULTIVO DE ARROZ

El suelo además de ser el soporte físico de la planta de arroz, es quien le provee los elementos minerales durante su ciclo fenológico. El objetivo principal de la preparación de suelo es la eliminación de malezas, incorporación de cobertura vegetal o materia orgánica, mejoramiento de la estructura en la capa arable para el favorecimiento de la germinación de las semillas y emergencia de plántulas. Se hace con la ayuda de un tractor y diferentes implementos dependiendo de la caracterización física del suelo de acuerdo al manejo que se le desee dar. Cuando se dispone de riego, los suelos para el cultivo de arroz son destinados para una producción continua y por ende tiene que haber un deterioro menor del mismo para los siguientes ciclos de siembra (Zapa Oviedo, 2020).

3.9.1 OPERACIONES DE LABRANZA DE SUELO EN EL CULTIVO DE ARROZ

Se necesita de un tractor de alrededor de 75 a 80 HP (caballos de fuerza) y doble tracción, y los implementos que se usan son los siguientes:

1) Arado. Se utiliza en el cultivo de arroz, se han usado entre 1 a 3 pases (dependiendo de la condición física) para suelos demasiados compactados superficialmente que impiden un normal desarrollo radicular de la planta, y también para volcar o voltear al final de la cosecha, para posteriores siembras (Zapa Oviedo, 2020).

2) Rastra pesada (rome-plow). Siendo el más generalizado para lograr una buena preparación de suelos, efectúan entre 2 a 4 pases de rastra pesada, sin embargo,

la humedad es determinante para su realización y el último pase se debe desarrollar inmediatamente antes de la siembra. (Zapa Oviedo, 2020).

3) Land plane (niveladora). Para una buena distribución uniforme de la semilla y lograr una profundidad adecuada de siembra y tapado, la finalidad es el emparejamiento de los terrones o desniveles que se presenten en el terreno (Zapa Oviedo, 2020).

4) Laser. Para la elaboración de las curvas de niveles gracias a un levantamiento planimétrico (Zapa Oviedo, 2020).

5) Caballoneador. Para realizar los caballones que permitirán el paso o no del riego por gravedad en el cultivo de arroz (Zapa Oviedo, 2020).

6) Cincelado. Es importante ya que provoca la ruptura de los agregados del suelo, creando nuevos poros (aumenta la macroporosidad, mejorando la capacidad del suelo de conducir aire y agua; aumentando la profundidad efectiva) y disminuyendo la resistencia mecánica al desarrollo de raíces en el suelo, lo que influye positivamente en los rendimientos (Gacitúa & Martínez, 2020).

7) Tipo de labranza. Los tipos de labranza que se hacen en el suelo se pueden agrupar desde diferentes puntos de vista:

a) Según el objetivo principal de la labranza:

1) Labranza primaria. Esta labranza que se hace para roturar el suelo y/o para descompactar capas endurecidas o densas (adensadas), así como para incorporar materia orgánica en el suelo. Se hace con implementos pesados como arados de discos, de vertedera o de cinceles, subsoladores y rastras pesadas. Es la labranza más agresiva, puede afectar hasta 35 cm de profundidad y produce alta rugosidad superficial en el suelo (Jaramillo, 2002).

2) Labranza secundaria. Este tipo de labranza tiene como principal objetivo es remover el suelo superficialmente para producir un mayor fraccionamiento de los terrones que deja la labranza primaria, así como para nivelar algo el terreno. Se hace con rastra de discos y afecta, generalmente, los primeros 15 cm del suelo (Jaramillo, 2002).

b) Según la intensidad y cantidad de labores que se hacen:

1) Labranza Convencional. En Colombia este sistema se caracteriza por la realización de uno o dos pases de arado pesado, seguidos de dos, tres o cuatro pases de rastrillo, más un pase de pulidor, hasta dejar el suelo completamente pulverizado. Además, dentro este componente, los implementos que más se han utilizado en este sistema son los arados y rastrillos de discos. Con este tipo de preparación se causa el mayor grado de deterioro al suelo, por el tipo de

implementos utilizados, porque se voltea el horizonte superficial del suelo y se pulveriza el mismo y por el exceso de labor que generalmente se hace, según observó (Jaramillo, 2002).

- 2) **Labranza Reducida.** 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).
- 3) **Labranza Mínima.** Este sistema consiste en realizar el menor número de labores posible en el suelo, de modo que se garantice, de una parte, la consecución de un área adecuada para la germinación y el establecimiento de la planta, y de otra, favorecer la entrada de agua al suelo y su aireación. El suelo debe ser friable y estar en una condición óptima de humedad para que la labor tenga la máxima eficiencia (Jaramillo, 2002).
- 4) **Labranza Cero.** Con este sistema de trabajo, sólo se prepara el sitio donde va a colocarse la semilla o la plántula a trasplantar, dejando el resto del suelo sin manipular. Para que este sistema funcione adecuadamente, se requiere que el suelo tenga unas excelentes condiciones físicas y que se haga un estricto control de malezas que generalmente se lleva a cabo con herbicidas. En el sistema descrito puede producirse una alta acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo por la falta de manipulación de dicho material que favorezca su oxidación; esta condición puede causar hidrofobicidad en el suelo, cuya manifestación depende, obviamente, del tipo de material que se esté acumulando (Jaramillo, 2002).

a) Según el volumen de suelo afectado con la labor:

- 1) **Labranza Vertical.** Este sistema se aplica a suelos con limitaciones físicas internas, principalmente presencia de capas endurecidas o compactadas. El suelo se rotura a profundidades entre 30 y 40 cm, generalmente con subsolador o con arado de cinceles, siguiendo una línea en el terreno, por lo cual se afecta un volumen de suelo adyacente a la línea por donde corre el implemento. Con este tipo de labranza se aumenta la infiltración del suelo, se aumenta la capacidad de almacenamiento de agua en el mismo, se favorece el crecimiento radicular y se incorpora materia orgánica en profundidad al suelo (Jaramillo, 2002).
- 2) **Labranza Horizontal.** Es la que se hace con implementos que poseen discos o vertederas. En ella se afecta todo el volumen del suelo, hasta cierta profundidad de trabajo (Jaramillo, 2002).

OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar cuatro sistemas de labranza enfocados a la producción, rendimiento y rentabilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*)

4.2 ESPECÍFICOS

1. Determinar el efecto de cuatro sistemas de labranza: labranza cero; Un pase de equipo integral (Cinzel rígido más rastrillo de discos y rolo desterronador) más un pase de rastra pesada; Un pase de rastra pesada más un pase de equipo integral, y un pase de rastra pesada más dos pases de equipo integral, sobre las propiedades físicas.
2. Evaluar cuatro sistemas de labranza sobre las variables de crecimiento y desarrollo, y componentes de rendimiento del cultivo de arroz.
3. Hacer un análisis de costo de cada uno de los sistemas de labranza implementados.

5. HIPOTESIS

Este proyecto de investigación se presentan diferentes sistemas de labranza con los cuales se busca evaluar los efectos que tienen sobre la capa arable del suelo. Cabe destacar que la posición en que se utilicen los implementos es de suma importancia, ya que, puede influir en las variables de crecimiento y desarrollo, y componentes de rendimiento del cultivo de arroz.

¿Se puede implementar un manejo relacionados con los sistemas de labranza agrícola en el cultivo de arroz, enfocadas a la rentabilidad y conservación de las propiedades físicas del suelo?

6. METODOLOGIA

6.1 LOCALIZACIÓN

La presente investigación se realizó, en el campo experimental “La Victoria” de FEDEARROZ (Fondo Nacional del Arroz F.N.A), kilómetro 8 del municipio de Montería, coordenadas: 8° 89' N y 75° 49' W respecto al meridiano de Greenwich; a una altura de 20 m.s.n.m., precipitación anual promedio de 1346,1 mm, humedad relativa del 84%, temperatura promedio anual de 27,4 °C, brillo solar anual de 2108,2 horas y zona de vida denominada bosque seco tropical (bs-T), según la clasificación de Holdrige (Palencia et al. 2006).

6.2. MUESTREO DE SUELO PARA ESTUDIO FISICO-QUIMICO

1. Parámetros Físicos:

- a) **Resistencia a la penetración (RP).** Se utilizó un penetrómetro de cono para la determinación de la resistencia a la penetración en los primeros 20 cm, haciéndolo en 5 puntos (repeticiones) en cada uno de los tratamientos, hasta alcanzar un punto límite o máximo de resistencia. Los valores de resistencia están expresados en Megapascales (MPa).
- b) **Infiltración (I).** se utilizó la técnica de anillos concéntricos, la cual consistió en colocar dos anillos metálicos en el suelo y llenaron de agua; luego se midió la lámina de agua que penetra en el suelo por unidad de tiempo, hasta obtener una rata de entrada constante.
- c) **Densidad Aparente (DA).** se determinó por el método del cilindro. Consistió en introducir al suelo tres cilindros de volumen conocido, este se rasó por ambos extremos, se pesó en húmedo, se llevó al horno a 105°C por 24 horas, se dejó enfriar y se pesó nuevamente. La relación del peso seco y el volumen del cilindro, sería la densidad aparente del suelo.
- d) **Porosidad (P).** se estimó con base en las densidades real aparente, según la relación en la siguiente ecuación:

$$P = \left(1 - \frac{Da}{Dr} \right) \times 100 \quad 19$$

P: Porosidad total: %.
Da: Densidad aparente: Mg m⁻³.
Donde: Dr: Densidad real: Mg m⁻³.

2. Parámetros Químicos:

a) **Análisis químico (AQ):** Se tomaron muestras de suelo con el barreno tomando tres submuestras que fueron mezcladas para cada una de las unidades experimentales, posteriormente fueron llevadas al laboratorio de suelos y aguas de la Universidad de Córdoba donde se procesaron según la metodología de IGAC (1990) para las siguientes determinaciones: pH, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, sodio, y elementos menores como hierro, zinc, manganeso, boro, molibdeno). A continuación, se muestran los valores de referencia de cada nutriente en el suelo:

Tabla 1. Valores de referencia de los nutrientes en el suelo.

NIVELES DE INTERPRETACIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUELO	
pH	Potenciométrico Suelo-Agua (p/v) 1:1
CO %	Titulométrico Walkley – Black
S	Turbidimétrico Fosfato monocalcico
P	UV – VIS Bray II / Olsen
Ca	Extracción Atómica Acetato de amonio 1,0 M pH 7,0
Mg	
K	
Na	
CICE	
Al + H	KCl 1,0 M
Cu-Zn	DTPA
Fe-Mn	DTPA
B	Agua caliente

3) Adecuación del lote

Cada parcela o unidad experimental (UE) tuvo unas dimensiones de 33 m de largo y 9 m de ancho para los cuatro tratamientos con una separación de 1,0 m entre ellos para un total de 1188 m². En este ensayo se utilizó el sistema de labranza cero (LC) y la combinación de los implementos de Rastra Pesada y Equipo Integral (Cinzel rígido más rastrillo de discos y rolo desterrador) para conformar los otros sistemas, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Sistemas de labranza Implementados.

Tratamientos	Descripción
TTO 1	Labranza cero
TTO 2	Un pase de Equipo integral + un pase de Rastra pesada.
TTO 3	Un pase de Rastra pesada + Un pase de Equipo integral
TTO 4	Un pase de Rastra pesada + dos pases de Equipo integral

4) Material vegetal y siembra

El material escogido para la siembra fue la semilla certificada FEDEARROZ 2020, esta se sembró de manera manual y se utilizaron 150 kg/ha.

5) Riego

El riego que se implementó fue por gravedad tipo melga, con frecuencias de riego cada 72 horas (agua al lote de ensayo), esta se suspendía 2 días antes de realizar actividades de control de malezas y/o fertilización.

6.3 MANEJO DEL CULTIVO

- 1. Control de Arvenses.** se realizaron dos aplicaciones químicas, las cuales se efectuaron a los 18 y 38 días después de la siembra, se utilizaron las siguientes dosis: a) 5 L/ha de propanil + 3 L/ha de Butalaclor + 1.5 L/ha de clomazone para la primera aplicación. b) 5 L/ha de propanil + 2 L/ha de Quinclorac + 300 cc/ha de Piclofed para la segunda aplicación
- 2. Plan de Fertilización.** las cantidades aplicadas dependieron de la oferta del suelo, estas se dividieron en tres etapas a los 23 DDS se aplicó 2 bultos (100kg) de Fosfato Diamónico (DAP) + 1 bulto (50kg) de Cloruro de potasio (KCl) + 1 Bulto (50kg) de Sulfato de Amonio (SAM) + 1 bulto (20kg) de Borozinc; a los 31 DDS se aplicaron, 1 bulto de Urea - 1 bulto de KCl + 1 bulto de SAM; por último, a los 41 DDS se aplicó 1 bulto de Nitrato de Amonio (Urea) + 1 bulto de KCl.

6.4 VARIABLES FISIOLÓGICAS

- a) **Altura (AP):** A los 15, 30, 45 y 60 días después de la emergencia (DDE), se medirá altura de plantas con un procedimiento similar al usado para evaluar máximo macollamiento, se hizo en la misma área demarcada para medir el macollamiento de 50cm x 50cm y se muestrea la altura de las plantas desde la base hasta el extremo superior o ápice de la hoja, la altura de planta se expresó en centímetros (cm).
- b) **Masa Seca de la Parte Aérea (MSPA):** Se determinó a partir de las muestras colectadas en campo, donde por cada tratamiento se tomaron tres muestras las cuales se les hizo un corte para separarlas de sus respectivas raíces; por último, se colocaron en una estufa a 50°C por tres días.
- c) **Masa seca de raíces (MR):** Se tomaron tres muestras en campo por tratamiento para determinar el peso en seco de las raíces, cada muestra se separó de su parte aérea de la planta y posteriormente se lavaron. Una vez separadas las raíces, se colocaron dentro de una estufa a 50°C por tres días.

6.5 VARIABLES DE RENDIMIENTO

- a) **Población de Plantas (PP):** Se determinó a partir de muestreo en las subparcelas dentro de cada tratamiento, estas tenían unas dimensiones de 1 m².
- b) **Máximo Macollamiento (MM):** A los 30, 40, 50 días después de la emergencia (DDE), se cuantificó el máximo macollamiento del cultivo en cada unidad experimental se usó un área demarcada previamente de 50cm x 50cm contando así el número de macollas de las plantas que queden dentro del área del marco, el resultado es expresado en macollas por planta.
- c) **Macollamiento Efectivo (ME):** Se cuantificó las macollas que hayan emitido espigas en cada unidad experimental, se hizo en la misma área en que se midió macollamiento y altura de planta durante el ciclo. Este fue expresado en macollas efectivas por plantas.
- d) **Longitud de espigas (LE):** Se determinó tomando tres muestras por tratamiento en campo, a partir de estas se hizo la medición de las espigas de cada una de las plantas.
- e) **Masa Seca del Grano (MSG):** Se determinó a partir de las muestras colectadas en campo, donde por cada tratamiento se tomaron tres muestras las cuales se les hizo un corte para separarlas de sus respectivas raíces; por último, se colocaron en una estufa a 50°C por tres días.
- f) **Peso de 1000 granos:** Se determinó a partir las panículas recolectadas de las muestras de la parte aérea de la planta.
- g) **Vaneamiento (%):** Después de la cosecha, se retiró de las espigas todos los granos donde se separó los granos llenos y vanos.
- h) **Rendimiento (RTO):** Se tomó al momento de la cosecha en cada una de las unidades experimentales en el área del marco de referencia y se hizo extrapolación; se expresó en toneladas por hectárea.

- i) **Índice de Pilada (IP):** Es el % de solo el grano entero respecto a la muestra de 100g que se usó para la prueba de molinería.

6.6 EVALUACION DE COSTOS DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA IMPLEMENTADOS

- a) **Análisis de Costos.** Los sistemas de labranza implementados fueron dos Equipo integral (Cinzel rígido más rastrillo de discos y rolo desterronador) y la rastra de discos. El valor por cada pase que se realice es el siguiente:

1. Equipo Integral: \$120.000
2. Rastra de Discos: \$110.000

6.7 DISEÑO EXPERIMENTAL Y/O MUESTREO

El Diseño Experimental que se utilizado fue de un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con un arreglo en franjas. Se realizó análisis estadístico ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$).

6.8 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos obtenidos de ensayo experimental, fueron tabulados y organizados utilizando los programas Microsoft Excel (Última Versión) y el Software SAS 9.4 (español), para su análisis respectivo. Para el análisis de los costos del cultivo de arroz se realizó mediante el programa SACFA Lite el cual permite llevar de manera rigurosa y más certera un registro de todas las actividades propias del cultivo, de tal manera que se pueda evaluar con confiabilidad la rentabilidad del negocio arrocero, además permite calcular diferentes indicadores financieros, manejar inventarios, establecer la relación costo/beneficio y diferentes aplicaciones en beneficio del agricultor.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo principal de esta investigación fue determinar qué sistema de labranza implementado tuvo una mayor influencia en el crecimiento, producción, rendimiento y rentabilidad en el cultivo de arroz. Por consiguiente, las variables evaluadas nos permitieron establecer el mejor modelo de labranza que puede conservar las características del suelo.

7.1 Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo.

1) Parámetros Físicos

- a) **Resistencia a la penetración.** Los valores de resistencia a la penetración se tomaron antes, posterior a la mecanización del suelo y después de cosecha; estos datos se encuentran registrados en la Tabla (3, 3.1 y 3.2). Se logró observar que el movimiento del suelo causó reducción en el nivel de adensamiento en el perfil, incluso en el tratamiento de labranza cero (T1), en donde los valores de resistencia cambiaron en el tiempo, tal vez debido a la variación del suelo en sus valores de resistencia a la penetración. En la Figura 18, 19 y 20 se logra detallar la tendencia del valor promedio de resistencia a la penetración antes de labrar el suelo, después del primer pase y cosecha cabe añadir que valores mayores a 0.3 MPa (Megapascuales) afectan el desarrollo de raíces y la parte aérea de la planta, igualmente impide una normal absorción de nutrientes por que estos no están disponibles por su baja movilización en el suelo (Ortiz Londoño et al., 2021).

Teniendo en cuenta esto el tratamiento con mayor compactación antes de mecanizar fue el tratamiento 2, seguido de los tratamientos T3, T1 y T4 que presentaron valores de resistencia altos antes de los 15 cm de profundidad. La capa de adensamiento superior al valor de referencia, fue detectado a partir de los 15 cm para todos los tratamientos. Sin embargo, dicha resistencia disminuyó en la medida que se profundizaba en el perfil, se alcanzaron valores que oscilan entre 0,38-2,30 MPa en los primeros 10 centímetros de suelo labrado, donde la mejor respuesta fue del tratamiento T3 (Rastra Pesada/ Equipo Integral). No obstante, los resultados de la resistencia a la penetración en cada una de las profundidades evaluadas nos indica un problema de adensamiento y disminución del porcentaje de porosidad del suelo. Ya en la parte edáfica afecta el dinamismo que existe en el suelo, en lo que respecta a la actividad microbológica y el intercambio gaseoso con la atmosfera (Ortiz Londoño et al., 2021). Por último, los valores registrados después de cosecha en los tratamientos 2 y 3 mostraron respuestas favorables de resistencia adecuados para el cultivo. Si bien el rendimiento de los cultivos de granos cultivados bajo el agua y las deficiencias de nutrientes se puede corregir al optimizar el área de exploración de las raíces con la labranza, lo que mejora su capacidad para capturar los recursos del suelo (Lynch et al., 2014).

Tabla 3. Valores promedio de resistencia a la penetración (MPa) antes de mecanizar el suelo, según la profundidad de muestreo.

Profundidad (cm)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
0 – 5	2,1	2,4	2,0	2,5
5 – 10	2,8	3,0	2,4	2,3
10 – 15	2,3	2,7	2,6	1,8
15 – 20	1,8	2,9	2,4	1,6

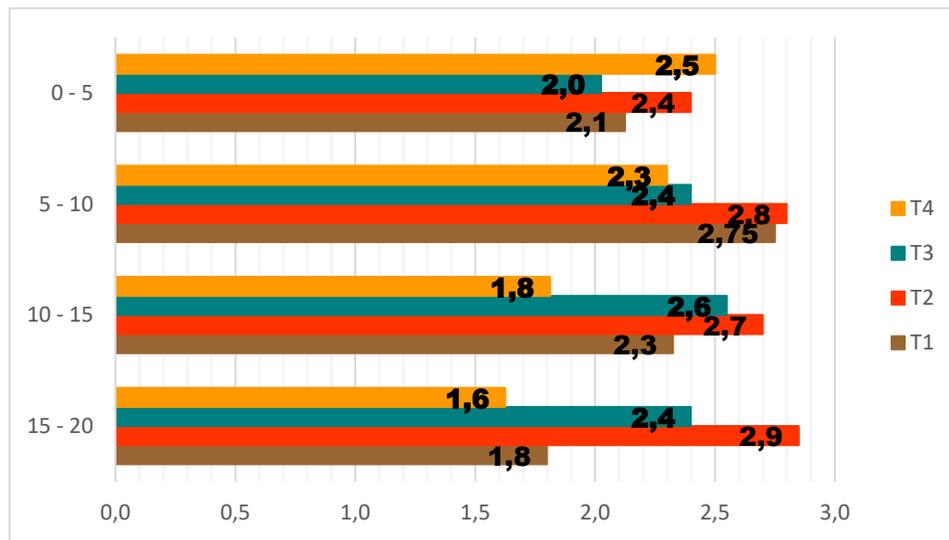


Figura 18. Tendencias de la resistencia promedio a la penetración antes de mecanizar el suelo, expresados en Megapascuales (MPa).

Tabla 3.1. Valores promedio de resistencia a la penetración (MPa) después de labrar el suelo, según la profundidad de muestreo.

Profundidad (cm)	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
15 - 20	1,8	2,9	2,4	1,6
5 – 10	1,0	2,08	2,03	2,30
10 – 15	2,23	2,4	2,60	1,82
15 – 20	2,37	2,70	2,28	1,63

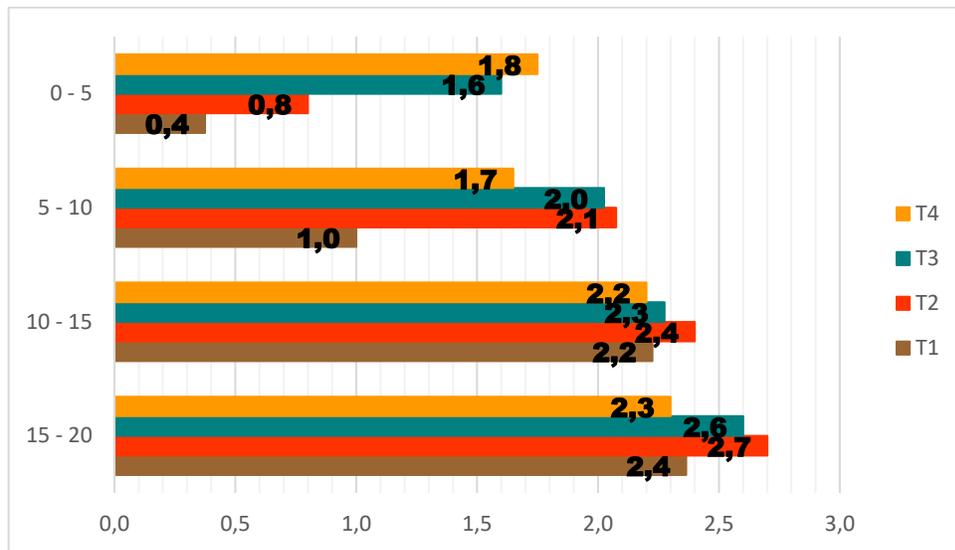


Figura 19. Tendencias de la resistencia promedio a la penetración después de la labranza, expresados en Megapascales (MPa).

Tabla 3.2. Valores promedio de resistencia a la penetración (MPa) después de cosecha, según la profundidad de muestreo.

Profundidad (cm)	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
0 – 5	0,5	0,7	0	2,4
5 – 10	1,0	1,1	1,0	2,0
10 – 15	1,6	1,3	1,1	1,85
15 – 20	2,1	1,8	1,6	1,5

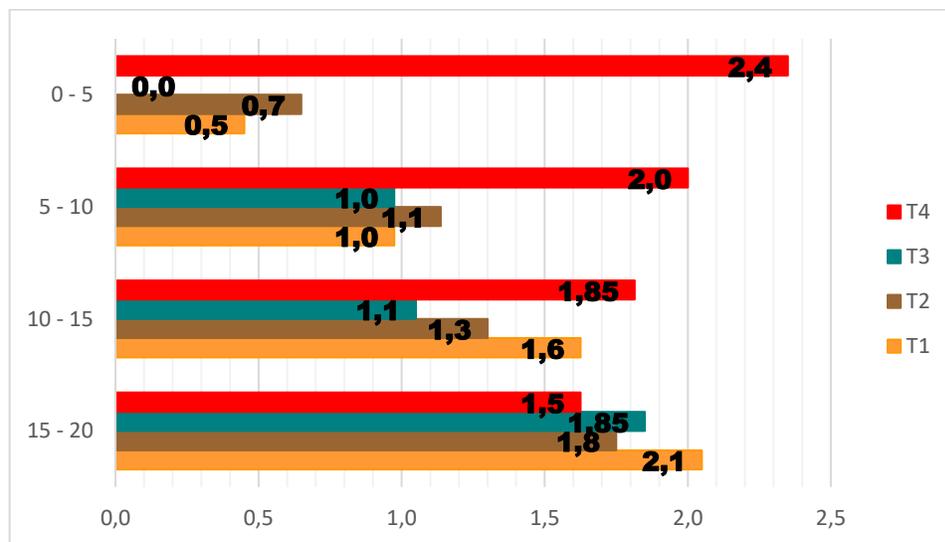
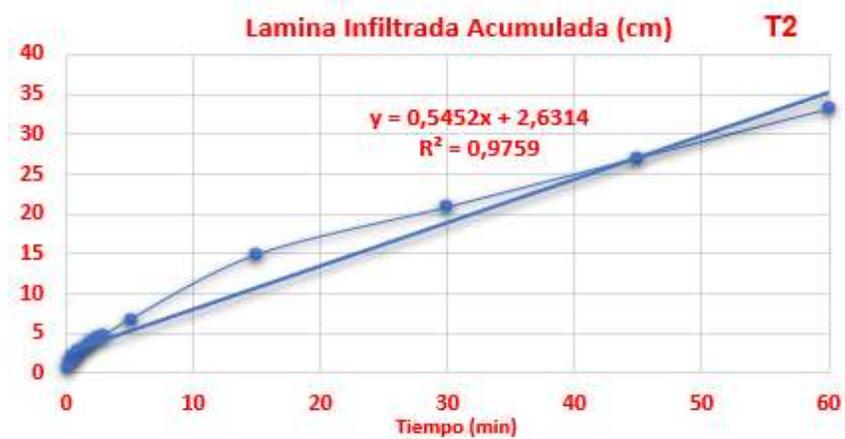


Figura 20. Tendencias de la resistencia promedio a la penetración después de cosecha, expresados en Megapascales (MPa).

b) **Infiltración.** Los resultados se observan en la figura 21, donde los picos de incremento se deben a los recambios en el cilindro concéntrico previo a los 10 minutos de evaluación. La caída más rápida del agua se presentó en el tratamiento T1, en donde se alcanzaron valores de 44 mm/h a los 60 minutos de observación; en los tratamientos T1, T2 y T3 en ese mismo tiempo, los valores fueron de 40 mm/h, 248 mm/h y 320 mm/h, respectivamente.



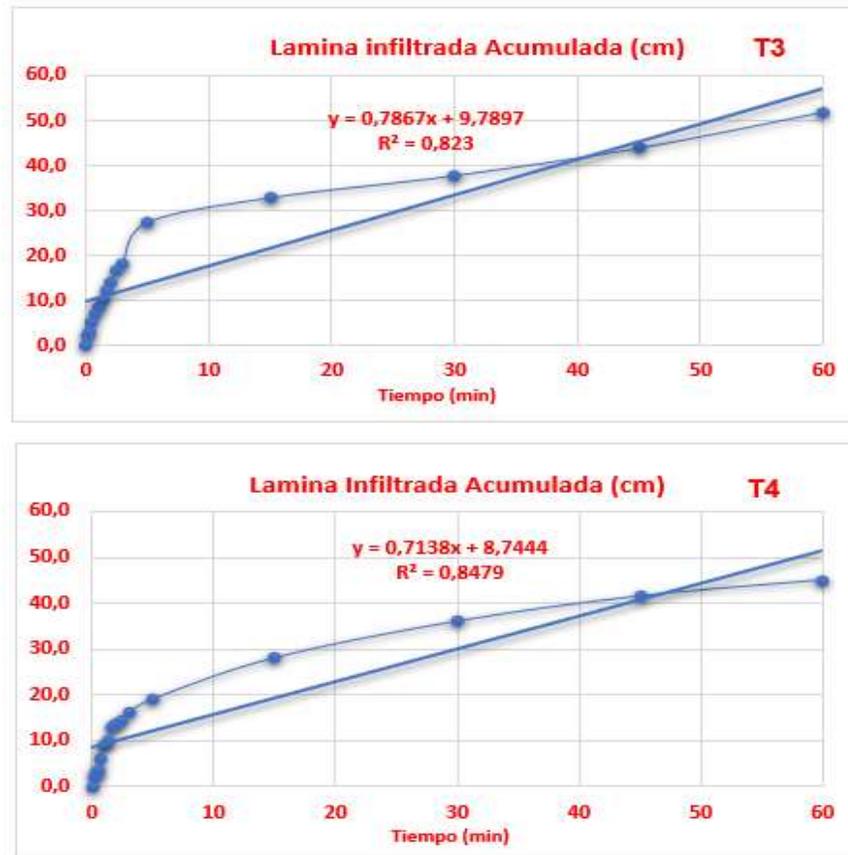


Figura 21. Comportamiento de la infiltración según el método de doble anillo en los tratamientos T1, T2, T3 y T4.

Las propiedades hidráulicas de los tratamientos siguen la metodología de Horton (1939) modificada, deduciéndose que, al final, en todos los tratamientos existió una buena capacidad de infiltración del agua según los valores de referencia: menor a 5 mm.h^{-1} (muy baja), $5\text{-}10 \text{ mm.h}^{-1}$ (baja), $10\text{-}20 \text{ mm.h}^{-1}$ (media), $20\text{-}30 \text{ mm.h}^{-1}$ (moderada), y $>30 \text{ mm.h}^{-1}$ (alta). Estos valores de velocidad de infiltración son importantes para determinar los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar (Alvarado Batres y Barahona-Palomo, 2016).

- c) Densidad aparente.** Los valores medios para la densidad aparente se encuentran registrados en la Tabla 4. En general, la densidad aparente del suelo no parece indicar problemas de compactación en el perfil superior del suelo, además los valores fueron muy similares entre tratamientos, donde la mayor densidad fue presentada por el tratamiento 2 (Equipo Integral/Rastra Pesada). A pesar de que el uso de las herramientas de arado busca constituir una mejor capa superficial de siembra mediante el corte perpendicular del suelo, no necesariamente se reduce la densidad aparente relacionada con el adensamiento de las partículas del suelo.

Tabla 4. Valores medios para la densidad aparente y porosidad del suelo en cuatro sistemas de labranza.

Tratamiento	Densidad aparente (g.cm ⁻³)
T1	1,44
T2	1,54
T3	1,46
T4	1,49

d) **Porosidad.** Los valores medios para la densidad aparente se encuentran registrados en la Tabla 5. El suelo en los cuatro tratamientos, presentó contenidos porosos moderado, lo cual es adecuado para el crecimiento de las raíces (Yang et al., 2004), así también se beneficia la infiltración de agua en el perfil del suelo. (Osanyinpeju y Dada, 2018) no se encontraron diferencias entre el sistema de labranza cero y labranza convencional en relación a la porosidad y los cambios de densidad en base a la profundidad; sin embargo, los autores encontraron una alta capacidad de sorción e infiltración del suelo mejorado por la labranza.

Tabla 5. Valores medios para la porosidad del suelo en cuatro sistemas de labranza.

Tratamiento	Porosidad (%)
T1	41,22
T2	41
T3	40,41
T4	43,77

e) **Análisis de las propiedades químicas del suelo.** Los contenidos de nutrientes (S, P, Ca, Mg y K), pH y CICE se observan en la Tabla 5, donde el pH del suelo seco fue moderadamente ácido ideal para la solubilización de la mayoría de los macronutrientes cuando el cultivo se establece en secano. Para el cultivo de arroz riego, los valores en la Tabla no aplican cuando la lámina de inundación es constante, pues el pH y la dinámica de nutrientes cambia.

En general, los valores de materia orgánica (M.O) son bajos para todos los tratamientos, los contenidos de S fueron bajos en los tratamientos T2 y T3, y medio en el tratamiento T1. El contenido de calcio fue ideal en el T2 y alto en los tratamientos T1 y T3. Así también, los contenidos de Mg fueron altos en todos los tratamientos. Por su parte, el contenido de potasio fue bajo en el tratamiento T2, medio en el T3 e ideal para T1. La CICE es la suma de todas las cargas negativas que las superficies orgánicas y minerales del suelo puedan retener y fue ideal en los tratamientos T1 y T3, pero presentó un valor medio en T2. Los efectos del sistema de labranza sobre los cambios en el contenido de nutrientes no existen,

sin embargo, sí influye sobre la mayor absorción del nutriente en la solución del suelo, considerando que se mejoran las propiedades físicas de adensamiento y compactación que permiten el crecimiento de raíces (Mallareddy y Padmaja, 2013).

Los análisis de suelo se utilizaron para hacer las respectivas recomendaciones en el plan de fertilización, las cuales fueron fraccionadas durante el desarrollo del cultivo así: Al momento de la siembra (10%), al iniciar el macollamiento (40%), en pleno macollamiento (15%), previo al inicio del primordio floral (15%), y en el embuchamiento (20%), teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales de la variedad Fedearroz 2020 para una producción esperada de 6 ton/ha (FEDEARROZ, 2021). El tratamiento 1 se fertilizo con 2.1, 0.14 y 5 bultos de Urea, DAP y KCl respectivamente, para el tratamiento 2 se usaron 3.6, 0.29 y 2 bultos de Urea, DAP y KCl correspondientemente y para el tratamiento 3 se usó 2.7, 1.31 y 4 bultos de Urea, DAP y KCl de forma respectiva.

Tabla 6. Contenido de nutrientes, pH y CICE para cuatro sistemas de labranza para la siembra de arroz (*Oryza sativa* L.).

Tratamientos	Variable							
	pH	M.O	S	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	CICE
	-	%	mg.kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹			
T1	6,6	1,76	12,1	13,5	11,69	5,256	0,319	17,4
T2	6,62	0,86	5,5	18,1	5,77	3,071	0,127	9
T3	6,92	1,95	9	16,5	13,14	6,252	0,292	19,8

7.2 Evaluación de sistemas de labranza sobre las variables de crecimiento y desarrollo, y componentes de rendimiento del cultivo de arroz. El Análisis de Varianza que se encuentra en la tabla 7, se observa que hubo diferencia significativa en la variable de masa seca de raíces (MSR) entre los tratamientos, contrario a las otras dos variables evaluadas que fueron masa seca de la parte aérea y altura de plantas donde no se registró diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 7. Análisis de Varianza de las variables de crecimiento y desarrollo.

Fuente de Variación	G. L	ANAVA DE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO		
		MSR (g)	MSPA (g)	AP (cm)
Tratamientos	3	11,42**	746,52 ns	21,98 ns
Error	8	0,713	727,083	20,04
Total	11			
Media		7,42	188,75	106,44
R ²		0,857	0,277	0,291
CV (%)		11,373	14,285	4,206

Masa seca de raíces (MR), Materia Seca de la Parte Aérea (MSPA), Altura (AP), (** significancia estadística $P < 0,01$).

Así mismo se muestra en la tabla 8 los valores promedio de las características cada una de las variables evaluadas y su respuesta entre los tratamientos, según la prueba de tukey al 5% de probabilidad.

Tabla 8. Valores medios de las características cada una de las variables evaluadas.

Tratamientos	MSR (g)	MSPA (g)	AP (cm)
Cero Labranza (T1)	4,86 c	166,67 a	104,667 a
Equipo Integral/ Rastra (T2)	8,83 a	201,67 a	109,533 a
Rastra/ Equipo Integral (T3)	6,9467 b	198,33 a	107,833 a
Rastra/ Equipo Integral (T4)	9,0567 a	188,33 a	103,733 a
CV (%)	11,37	14,28	4,20

Masa seca de raíces (MR), Materia Seca de la Parte Aérea (MSPA), Altura (AP), (** significancia estadística $P < 0,01$). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

a) Masa seca de raíces (MSR). El comportamiento promedio de la masa seca de raíces se observa en la Figura 22, también se muestra el análisis de varianza, mediante el cual se revelaron diferencias estadísticas significativas cuando $p < 0,05$ entre los tratamientos empleados. Cambios en la biomasa de raíces y otros caracteres relacionados, también han sido encontrados por Ozpinar y Baytekin (2006) en *Vicia sativa* L., Gómez-Carabalí (2006) en *Brachiaria dictyoneura* y Yeboah et al. (2016) en *Triticum aestivum*. Ozpinar y Baytekin (2006), por ejemplo, encontraron que la masa seca de raíces era estadísticamente diferente entre los sistemas de labranza convencional con arado de vertedera, labranza superficial con motocultor y labranza de doble disco; sin embargo, los cambios a lo largo de los tres años de evaluación, eran similares.

Yuan-zhi (2015) evaluaron los métodos de labranza convencional y labranza en camellones en el híbrido de arroz Zhuliangyou 02, encontrando que, la labranza en camellones, además de mejorar los parámetros fotosintéticos (eficiencia fotosintética, conductancia estomática y eficiencia en el uso del agua), también ayudó a la proliferación de un mayor número de raíces y a un mayor peso seco de las mismas.

Los resultados de las evaluaciones, indican que el tratamiento de labranza T4 (un pase de rastra seguido de dos pases de equipo integral), ayudó a un mayor crecimiento de raíces, donde la biomasa fue de 9,06 g, lo cual superó en un 86% al T1 (4,87 g), 2,42% al T2 (8,84 g) y 0,66% al T3 (9,00 g); estos dos últimos tratamientos fueron estadísticamente similares según el análisis de medias de Tukey.

Los resultados indican que, debido a la alta competencia de nutrientes bajo la labranza con el equipo integral, las raíces tienen un mejor crecimiento. Además, el corte vertical del subsolado favorece la profundización de las raíces. Una posible causa de la mayor biomasa de raíces, es que se conduce a la formación de aerénquima en las raíces (Suralta, 2008; Yamauchi et al., 2008), lo cual provee de un mejor crecimiento en las condiciones de riego con lámina de riego estático.

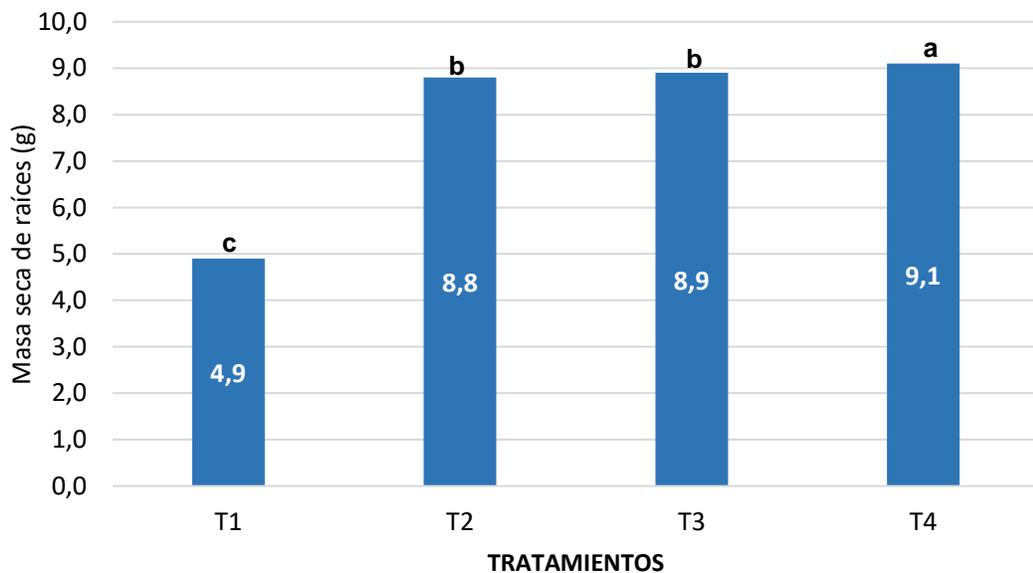


Figura 22. Valores medios para la masa seca de raíces (g) por unidad de área muestreada (0,25 m²). Tratamientos con diferente letra son diferentes según el análisis de medias de Tukey, $p < 0,05$.

b) Materia Seca de la Parte Aérea (MSPA). Los valores promedio de la parte aérea de planta se muestran en la Figura 23, estos oscilaron entre 167 a 202 g para los cuatro tratamientos. El análisis de varianza no resultó significativo para los tratamientos 1, 2, 3 y 4.

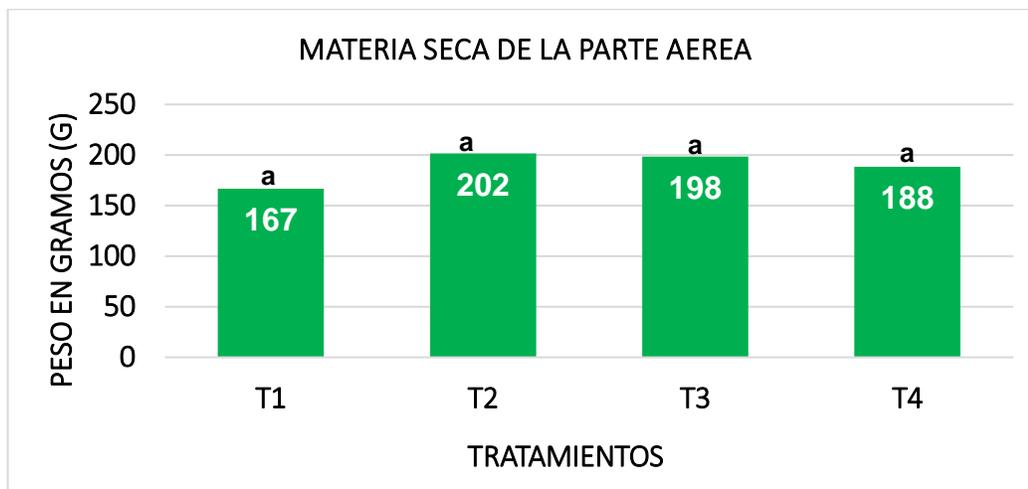


Figura 23. Valores medios para la materia seca de la parte aérea (g) por unidad de área muestreada (0,25 m²). Tratamientos con misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, $p < 0,05$.

c) Altura de planta (AP). El crecimiento de las plantas, expresado como la altura media para cada etapa fenológica, se observa en la Figura 24. El crecimiento mostró una tendencia lineal, en donde los mayores valores fueron expresados por el tratamiento T2, seguido por los tratamientos T3, T4 y T1. Ningún tratamiento se superpuso en el tiempo, por lo que se pudo observar ventajas comparativas dentro de las evaluaciones desde el inicio de las mismas (37 DDE).

Al final del ensayo, el T2 superó en un 4,43% al tratamiento de (Cero Labranza) T1, 4,11% al tratamiento de un pase de (Rastra Pesada/Equipo integral "2 pases") T4 y en 1,01 al tratamiento de Rastra Pesada/ Equipo integral) T3, lo cual indica una posible relación entre las condiciones del suelo mejoradas en los tratamientos T2 y T3 (baja resistencia a la penetración y mejoría en la infiltración del agua) y la respuesta en altura de las plantas. Autores como (Gu et al., 2017) y (Acevedo-Siaca et al., 2020) indican que el crecimiento en altura del arroz, optimiza la capacidad fotosintética, pues se intercepta mejor la luz en las hojas en el tercio bajo de la planta, al ordenar mejor el dosel.

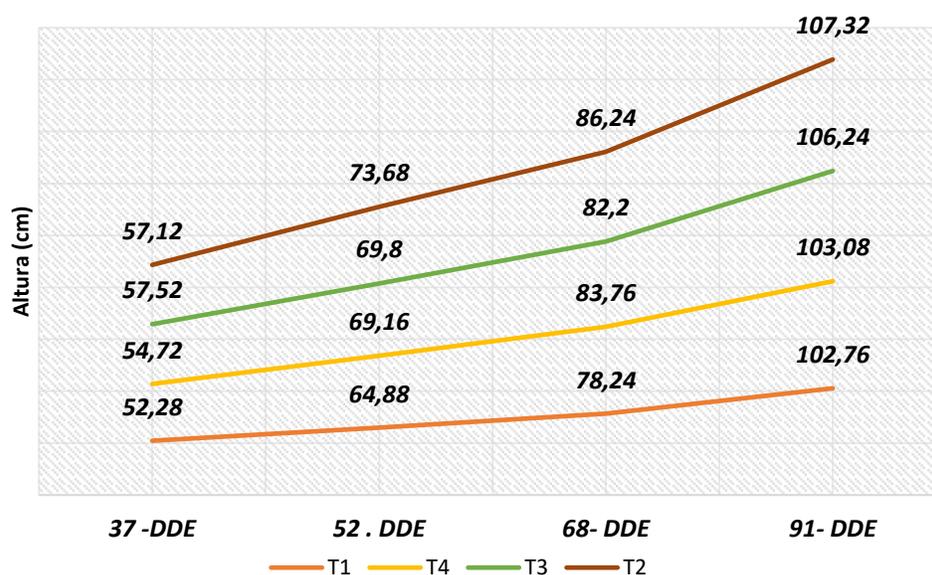


Figura 24. Altura de *Oryza sativa* L. en función de cuatro sistemas de labranza.

1) **Componentes de Rendimiento.** El análisis de varianza que se encuentra en la tabla 9, se observa que hubo diferencia significativa en las variables población de plantas (PP), porcentaje de vaneamiento (PV), Rendimiento (RTO) e índice de pilada (IP) entre los tratamientos, contrario a las otras variables evaluadas que fueron número de macollas (NM), macollamiento efectivo (ME), Longitud de Espigas (LE), masa seca del grano (MSG) y peso de 1000 granos (P1000g) donde no se registró diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 9. Análisis de Varianza de los de los componentes de rendimiento y calidad molinera.

Fuente de Variación	G. L	ANAVA DE LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD MOLINERA								
		PP (#)	NM (#)	ME (#)	LE (cm)	MSG (g)	P1000 g	PV (%)	RTO	IP
Tratamientos	3	1178,3**	0,234 ns	11,665 ns	1,229 ns	629,86 ns	0,308 ns	23,191 ***	16633 **	14,88* **
Error	8	15,58	0,206	23,570	1,287	508,33	0,101	0,109	1488	0,082
Total	11									
Media		42,16	5,38	91,52	19,608	138,75	26,40	15,341	4556,5	52,39
R ²		0,965	0,298	0,156	0,263	0,317	0,532	0,987	0,807	0,985
CV (%)		9,361	8,444	5,304	5,786	16,249	1,207	2,153	8,468	0,541

Población de plantas (PP), Numero de Macollas o Máximo Macollamiento (MM), Macollamiento Efectivo (ME), Longitud de espigas (LE), Masa Seca del Grano (MSG), Peso

de 1000 granos (P1000g), Vaneamiento (%), Rendimiento (RTO), (** significancia estadística $P < 0,01$).

Así mismo se muestra en la tabla 10 los valores promedio de las características cada una de las variables de Rendimiento y su respuesta entre los tratamientos, según la prueba de tukey al 5% de probabilidad.

Tabla 10. Valores medios de las características cada una de las variables evaluadas.

Tratamientos	PP (#)	NM (#)	ME (#)	LE (cm)	MSG (g)	P1000g	PV (%)	RTO	IP
Cero Labranza (T1)	23,66c	5,66 a	94,36 a	19,83 a	136,67 a	26,50 a	16,53 b	3534,0 B	50,46 b
Equipo Integral/Rastra (T2)	27,33 c	5,40 a	91,13 a	20,10 a	158,33 a	26,76 a	13,33 c	4774,3 a	54,50 a
Rastra/Equipo Integral (T3)	53,33 b	5,46 a	90,76 a	18,66 a	136,67 a	26,00 b	12,80 c	5310,0 a	54,13 a
Rastra/Equipo Integral (T4)	64,33 a	5,00 a	89,83 a	19,83 a	123,33 a	26,33 b	18,70 a	4607,7 a	50,46 b
CV (%)	9,36	8,44	5,30	5,78	16,24	1,20	2,15	8,46	0,54

Población de plantas (PP), Numero de Macollas o Máximo Macollamiento (MM), Macollamiento Efectivo (ME), Longitud de espigas (LE), Masa Seca del Grano (MSG), Peso de 1000 granos (P1000g), Vaneamiento (%), Rendimiento (RTO), (** significancia estadística $P < 0,01$). *Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

a) Población de plantas (PP). En la Figura 25 se muestran los valores medios para la profundidad de labranza por cada tratamiento, observándose claramente que con un pase de rastra y dos pases de equipo integral (T4), se logra una mejor profundidad de labrado de suelo fértil. De esta manera, un mayor número de herramientas de labranza utilizadas sobre la actividad de mecanización del suelo, permite lograr una mejor profundidad en el perfil del suelo.

La primera característica del suelo que se interviene con la mecanización es la estructura del mismo, la cual es de gran importancia para los procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan en el suelo y en el sistema suelo-planta-atmósfera (Fatichi et al., 2020). Aspectos más relevantes para los agricultores, como la fertilidad, también son dependientes de la fertilidad del suelo, por ello es importante saber elegir las herramientas de mecanización idóneas, y el número de veces que estas deben ser usadas (De et al., 2014). La profundidad de labranza depende de factores asociados con el tipo de labranza empleado, el

estado de las herramientas de trabajo y del próximo cultivo a establecer (Ji et al., 2014). Tal aspecto afecta mucho el rendimiento de los cultivos (Yuncheng et al., 2002).

En la misma Figura 3, se puede detallar cómo una mayor profundidad permitía un mayor número de plantas de arroz por unidad de área. Lo anterior se explica porque en el sistema de labranza de un pase de rastra y dos pases del equipo integral (T4), se hace una mejor disgregación del suelo, se eliminan capas superficiales adensadas, se hace una buena distribución horizontal del suelo labrado y se minimiza el riesgo de generar zanjas o pequeños surcos en el cuerpo del disco. Todo lo anterior concluyó en una cama de siembra mejor preparada para la germinación de las semillas.

Así mismo el análisis de varianza corroboró que hubo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos de labranza, donde el sistema de labranza cero (T1) mostró el menor número de plantas por unidad de área muestreada (23,7 ud/0,25 m²), seguido por el T2 (1 pase de equipo integral y 1 pase de rastra) con 27,3 ud/0,25 m²; el tratamiento T3 (1 pase de rastra y 1 pase de equipo integral) fue la segunda mejor respuesta con 53,3 ud/0,25 m². La mejor respuesta, como se mencionó, fue del T4, el cual superó en un 171% al T1, 136% al T2 y 21% al T3.

De manera similar, en un estudio a largo plazo elaborado por Das et al. (2021), se observaron mayores áreas de superficies de raíces y mayor longitud total de arroz, en el sistema de labranza convencional comparado con la cero labranza y labranza reducida. Las condiciones del cultivo cambian de acuerdo al sitio de observación, sin embargo, es claro que un mejor manejo mecánico del suelo, ayuda al crecimiento de las raíces y por ende permite un mejor rendimiento de las plántulas pues tienen mayor área de exploración por nutrientes y agua, además los riesgos de estrés fisiológico suelen reducirse cuando el anclaje es el ideal (Grossnickle, 2005).

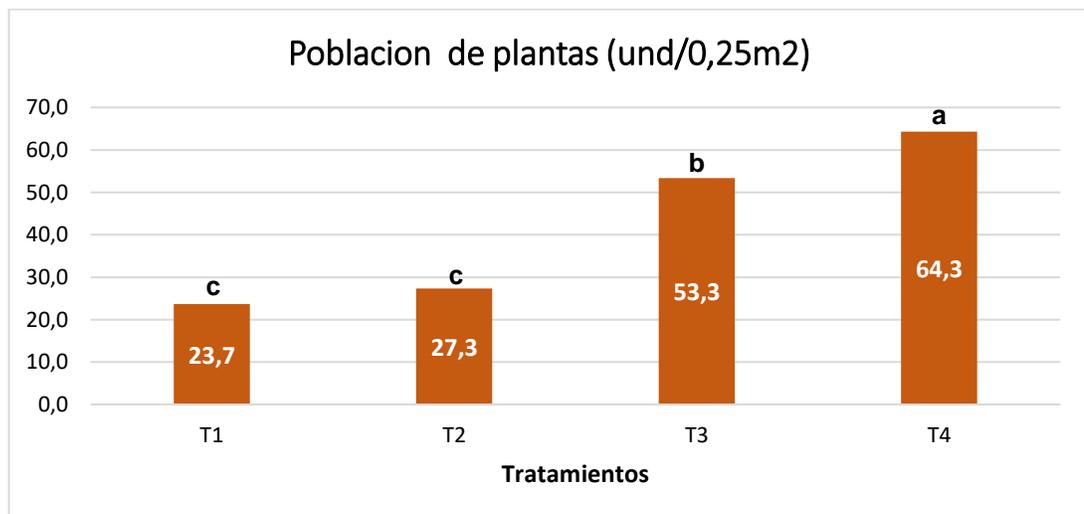


Figura 25. Valores medios para la población de plantas de arroz por unidad de área muestreada (0,25 m²). Tratamientos con diferente letra son diferentes según la prueba Tukey, $p \leq 0,05$.

b) Número de macollas o Máximo Macollamiento (NM). Los valores promedio para el número de macollas por planta se registran en la Tabla 11; el registro se hizo en tres periodos de crecimiento, a los 37, 52 y 68 días después de la emergencia de las plántulas (DDE). Aunque no se muestra el análisis de varianza, al parecer los sistemas de labranza no influyeron sobre el macollamiento. Sin embargo, los T2 y T3 tuvieron un buen comportamiento considerándose que presentaron los mayores valores en el promedio de macollas/planta a los 37 y 52 DDE.

El número de macollas es un importante componente del rendimiento en la evaluación del crecimiento y desarrollo del cultivo del arroz (Beltramo et al., 2004), el cual depende claramente del material genético sembrado, de las condiciones ambientales, el manejo de agrónomo y la interacción entre estos. De acuerdo con (Murata y Matsushima, 1978) el desarrollo de las macollas es bastante influenciado por radiaciones solares; temperatura y prácticas culturales tales como la población de plantas, suplemento de agua y nutrientes.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por (López et. al., 2002) quienes indican que después de los 40 días, el inicio del macollamiento activo y el crecimiento de varias partes de la planta causa un rápido aumento en la producción de materia seca, lo cual genera una respuesta rápida en el área efectiva del cultivo. Paul (2018) considera que, en promedio, puede haber hasta 40 macollas, sin embargo, todas las macollas no necesariamente permanecen verdes en todo el estado vegetativo de la planta pues algunos pueden permanecer inactivos. En arroz trasplantado, por ejemplo, la planta puede producir entre 10 a 30 macollas en siembra directa al voleo o en línea, la planta puede producir de 2 a 5 macollas, lo cual se evidencia a los 52 DDE donde el número de macollas máximo en los tratamientos T2, T3 y T4.

Tabla 11. Número de macollas por planta de acuerdo a los días después de emergencia, en función de cuatro tratamientos de labranza en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

Tratamiento	Días después de la emergencia		
	37	52	68
	Macollas/planta		
T1	4,5	5,1	5,6
T2	4,8	5,6	5,4
T3	4,8	5,5	5,5
T4	4,2	5,6	5,0

c) Macollamiento efectivo (ME). El macollamiento efectivo se expresó como el porcentaje del número macollas con panículas en relación al número de macollas totales Figura 26. Si bien, el tratamiento con mayor macollamiento efectivo fue el tratamiento T1, seguido por T2>T3>T4. El T2 disminuyó 3,43% en relación al T1; 3,85% y 4,82% en T3 y T4 en relación al T1, respectivamente. Los resultados de esta variable parecen ir relacionados con la densidad de plantas, pues en los tratamientos donde se observó el mayor número de plantas por unidad de área, se detectó el menor porcentaje de macollamiento efectivo.

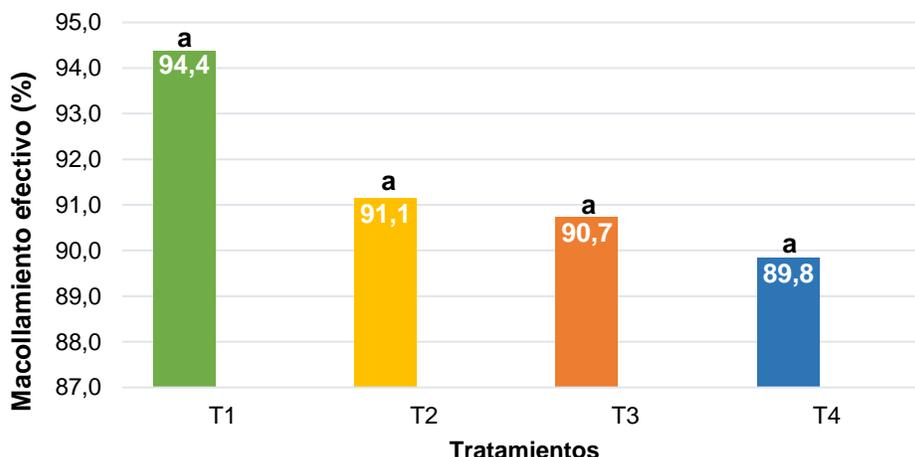


Figura 26. Valores medios para macollamiento efectivo del cultivo del arroz en función de cuatro tratamientos de labranza. Tratamientos con la misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, $p \leq 0,05$.

La relación proporcionalmente inversa entre la densidad de plantas y el macollamiento efectivo, se debe a que el desarrollo del meristemo de cada macollo está directamente influenciado por el uso eficiente de la luz, por lo cual, una mayor cantidad de hojas por cada macollo, puede generar sombreado e ineficiencia en el uso de la luz interceptada por las hojas en el tercio inferior de la planta (Tatsumi et al., 2020).

Al respecto, Wang et al. (2015), encontraron que el sombreado aumentó el contenido de clorofila de la hoja bandera y la máxima eficiencia de la fotoquímica del PSII bajo adaptación a la oscuridad, sin embargo, disminuyó la tasa fotosintética neta, lo que resultó en una caída brusca del rendimiento del grano principalmente debido a la reducción del llenado de las espiguillas y del peso del grano.

d) Longitud de Espigas (LE). Los valores promedio para la longitud de espigas por planta se registran en la Figura 27; en el análisis de varianza no se muestra diferencia significativa entre los tratamientos, con lo cual se puede decir que los sistemas de labranza no influyeron sobre la longitud de espigas.

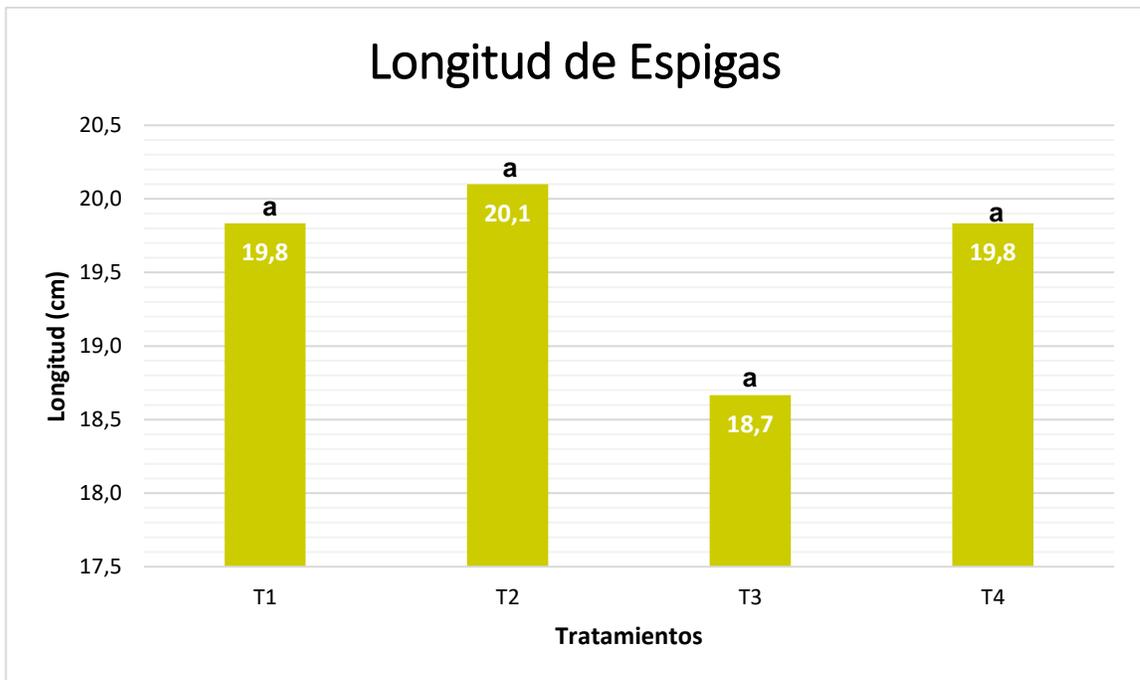


Figura 27. Valores medios para la longitud de espigas en función de cuatro tratamientos de labranza. Tratamientos con misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, $p \leq 0,05$.

e) Masa Seca del Grano (MSG). Los valores promedio para la materia seca del grano se muestran en la Figura 28; en el análisis de varianza no se muestra diferencia significativa entre los tratamientos, con lo cual se puede decir que los sistemas de labranza no influyeron sobre la masa seca del grano.

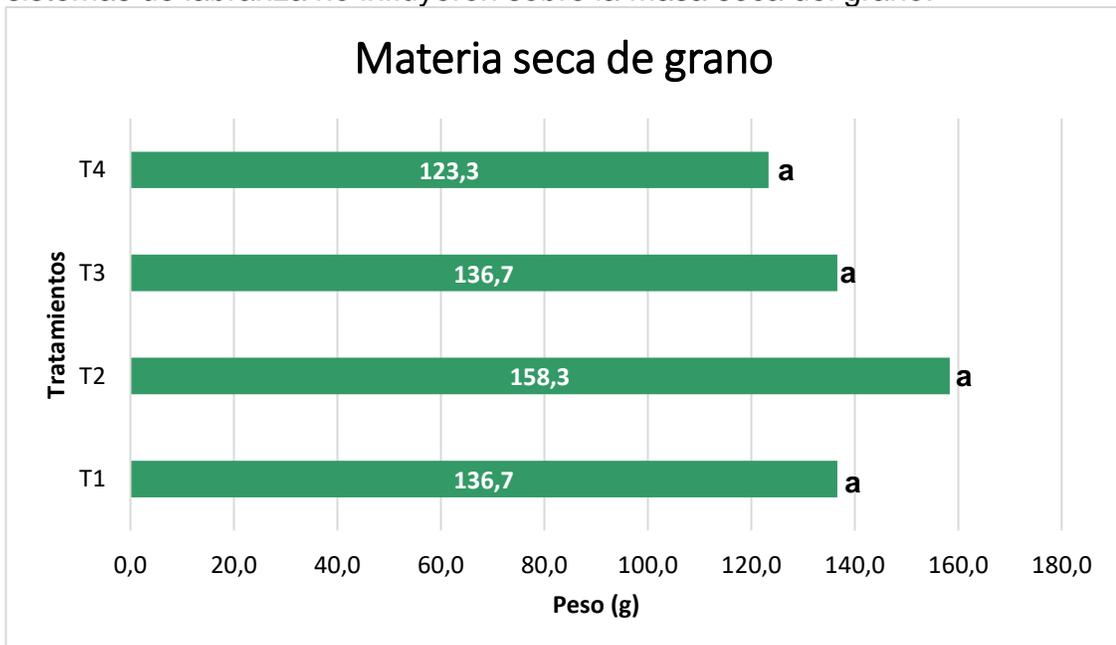


Figura 28. Valores medios para la materia seca del grano en función de cuatro tratamientos de labranza. Tratamientos con misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, $p \leq 0,05$.

f) Peso de 1000 Granos (P1000g). Los valores promedio para el peso de 1000 granos se muestran en la Figura 29; en el análisis de varianza no se muestra diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que los sistemas de labranza no influyeron sobre el peso de 1000 granos.

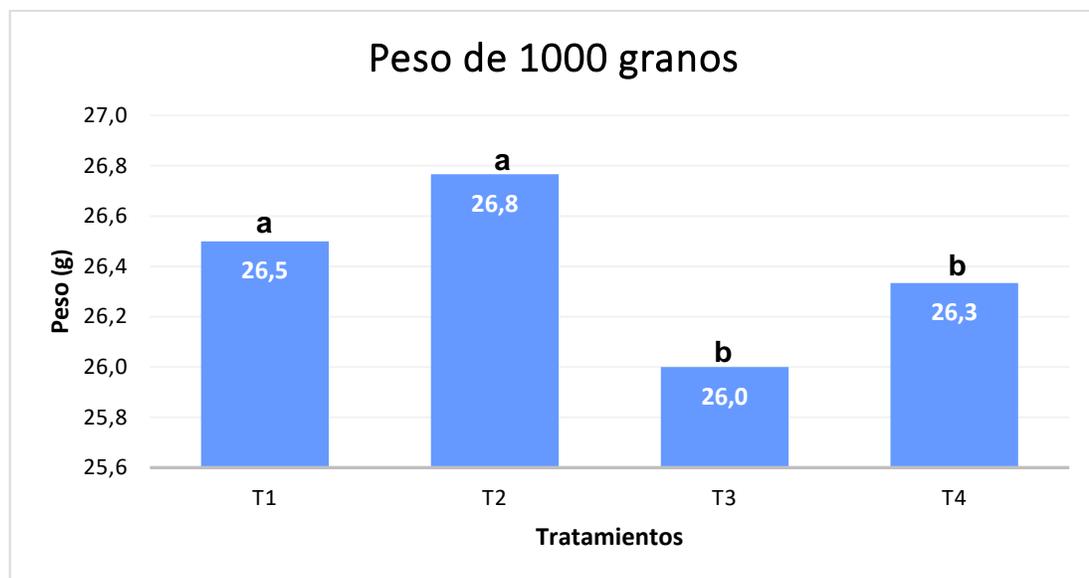


Figura 29. Valores medios para el peso de 1000 granos en función de cuatro tratamientos de labranza. Tratamientos con misma letra son iguales según el análisis de medias de Tukey, $p \leq 0,05$.

g) Vaneamiento (%). En la Figura 30 se muestra el comportamiento promedio de los tratamientos afectados por el mecanismo de labranza. Observándose que las metodologías de labranza afectaron el vaneamiento de arroz al nivel de $p \leq 0,05$. El vaneamiento de las espiguillas de arroz se refiere al llenado insuficiente de los granos, debido a efectos abióticos como temperaturas no adecuadas fuera del rango ideal que limitan eventualmente la viabilidad del polen (Martínez, 2016), o la presencia de enfermedades graves, como es el caso de *Burkholderia* sp (Souza et al., 2017; Li et al., 2017).

Una relación plausible entre los factores causantes del vaneamiento del grano y el tipo de labranza empleado, es la disposición de un perfil labrado, con pocas imperfecciones y con la estructura adecuada para la germinación de la semilla, permitirá un mejor anclaje y exploración de las raíces por nutrientes, lo cual reduce los riesgos de estrés y se incrementa la resistencia a enfermedades. En algunos casos, la mecanización del suelo ayuda, indirectamente, a destruir restos de cosechas y malezas que son inóculos de enfermedades (Schuh, 1990; Palojärvi et al., 2021).

Como quiera que sean las causas del vaneamiento, el suelo, definitivamente, pudo haber tenido algún grado de influencia sobre el llenado del grano, ello considerando los estudios de Duo et al. (2016) y Counce et al. (1990). La mejor respuesta promedio fue presentada por las plantas en el tratamiento de un pase de rastra y un pase de equipo integral con 12,8% de granos vanos, lo cual estuvo 32% por debajo del T4, el cual presentó los mayores valores de vaneamiento (18,7%). El valor de 13,8% de grano vano en el tratamiento T2 fue tan solo 4% superior al T3, los cuales fueron estadísticamente similares según el análisis de medias de Tukey. El tratamiento de labranza cero (T1) fue la segunda mejor respuesta, el cual fue 12% inferior al T4 y 30% superior al T3.

Como vemos, la profundidad de labranza y el orden de los implementos contribuyó de manera directa en la respuesta al vaneamiento; es decir, al haber una mayor profundidad, como es el caso del tratamiento T4, las raíces profundizaron más en el suelo dando así una mayor densidad en la población de plantas, por consiguiente, esto conlleva a una competencia intraespecífica de nutrientes en donde no hay un llenado adecuado de granos y apoyado también por factores climáticos.

Los estudios sobre vaneamiento en arroz han sido estudiados en función de los componentes causas, sin embargo, el tipo de labranza todavía no aparece documentado como un posible efecto de vaneamiento aislado. Algunos aspectos del cultivo en los que el tipo de labranza influye directamente, es en la tasa de crecimiento del cultivo (Shahzad et al., 2016; Yang et al., 2020), en la asimilación de nutrientes (Xomphoutheb et al., 2020) y en el rendimiento final (Ujoh y Ujoh, 2014; Alam et al., 2014; Pandey y Kandel, 2020).

Al respecto del análisis del tipo de labranza sobre el cultivo, Bangura et al. (2016) estudiaron los efectos de la labranza en un suelo franco arenoso (Ferric Acrisol) en los parámetros de rendimiento y el rendimiento de la variedad de arroz Nerica 4, encontrando que el arado con discos y rastra con discos, comparado con la cero labranza, produjo el mejor llenado de granos y redujo la susceptibilidad a la pérdida por granos no llenos; por ello, se produjo un mayor número de panículas y se produjo el peso ideal de las mismas.

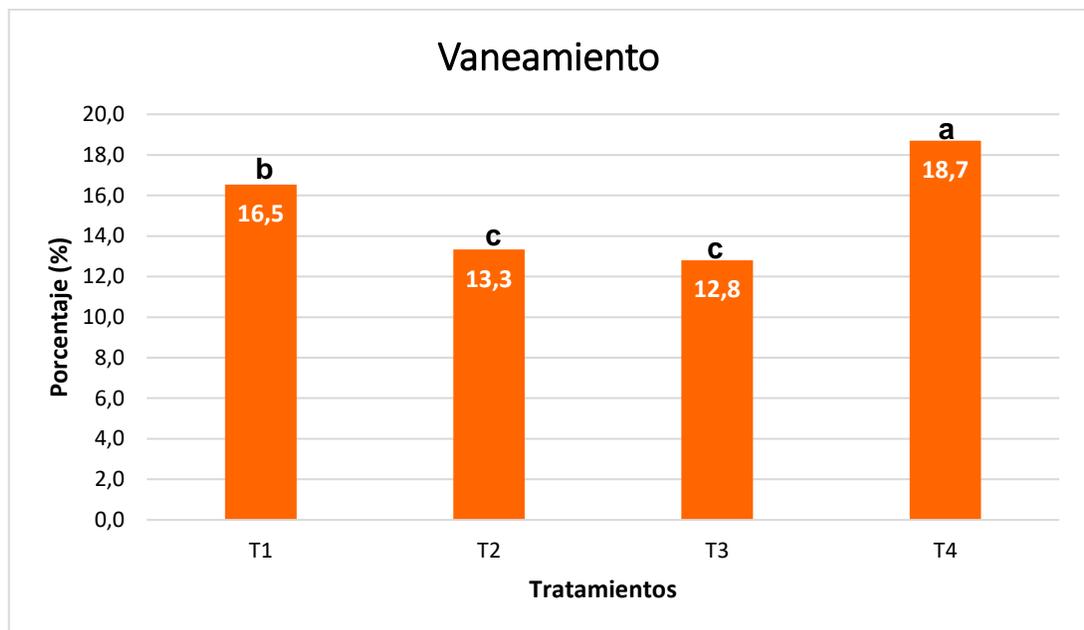


Figura 30. Valores medios para el porcentaje de Vaneamiento (%) por unidad de área muestreada (0,25 m²). Tratamientos con diferente letra son diferentes según el análisis de medias de Tukey, $p \leq 0,05$.

h) Rendimiento. El estimativo promedio del rendimiento para cada tratamiento evaluado, se registra en la Figura 31. El análisis de varianza arrojó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos de mecanización del suelo y la labranza cero, en donde la producción fue menor. Los resultados están indicando que, en efecto, el laboreo mecanizado del suelo ayuda a aumentar los rendimientos del cultivo; datos que también han sido reportado en varias investigaciones análogas (Alam et al., 2014; Song et al., 2016; Jat et al., 2019; Liu et al., 2021).

A pesar de que se incrementaron los rendimientos con la labranza, no se encontraron diferencias estadísticas dentro de los tratamientos de mecanización. Para futuros trabajos de investigación similares, es conveniente, por ejemplo, aumentar las fuentes de variación y las repeticiones, pues son muchos los factores que influyen sobre la producción del cultivo del arroz. Li et al. (2018) indican que la fertilización combinada con diferentes módulos de riego, permitieron comprender mejor los rendimientos del cultivo según la oferta hídrica en función de dosis adecuadas de nutrientes. Baloch et al. (2002), Chen et al. (2014), Tian et al. (2018) también habían indicado que el método de siembra y la densidad de plantas afectan la producción.

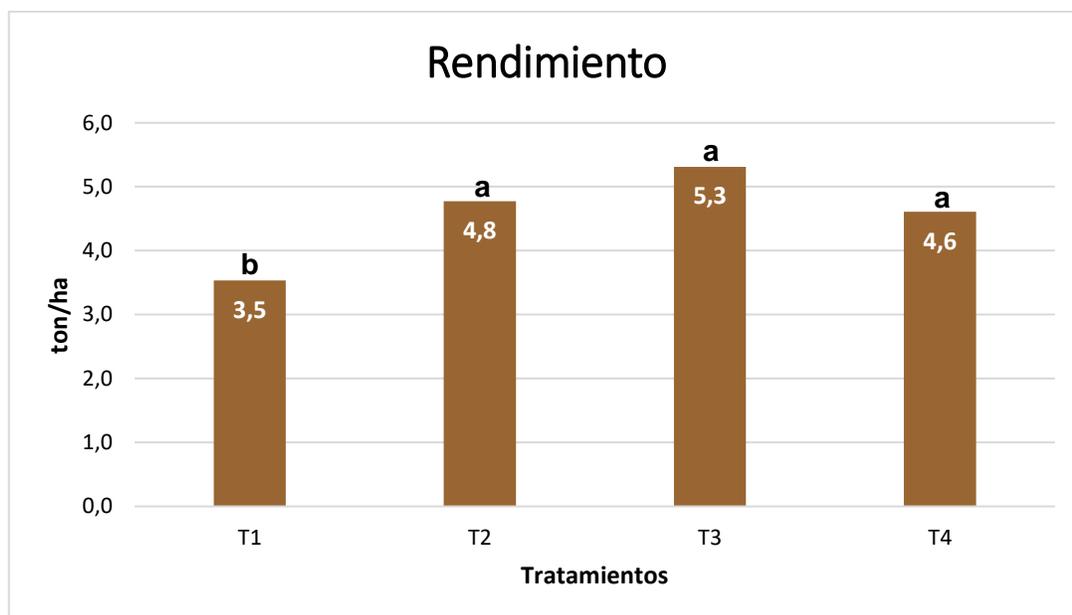


Figura 31. Valores medios sobre el rendimiento (ton/ha) por tratamiento. Tratamientos con diferente letra son diferentes según la prueba de Tukey, $p \leq 0,05$.

a) Índice de pilada (IP). Los valores medios de índice de pilada expresados como porcentaje, se encuentran detallados en la Figura 32. Se observa que hubo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$). El índice de pilada es una característica de la postcosecha del grano de arroz que está determinada por múltiples factores ambientales sucedidos durante el llenado y maduración de la espiguilla (Lin et al., 2010; Chen et al., 2017; LocThuya y Saitoh, 2017), y también está influenciado por la cosecha misma (Vongxayya et al., 2019). Todos estos aspectos, pueden enmarcar el verdadero efecto de la labranza, e indirectamente la profundidad de laboreo, sobre el índice de pilada.

El mejor índice de pilada fue presentado por los granos cosechados en los tratamientos T2 (54,5%) y T3 (54,1%), los cuales fueron estadísticamente similares según el análisis de medias de Tukey. Los tratamientos T1 y T4 fueron también similares en los valores medios para índice de pilado, con un valor medio de 50,5%. Los valores de índice de pilada son aceptables para la comercialización del producto, sin embargo, valores guía de índice de pilada superiores al 60%, son indicativos de un buen rendimiento y calidad en el proceso (Salamanca et al., 2007).

El rendimiento e índice de pilada son parámetros que están bien relacionados con la susceptibilidad del genotipo al vaneamiento (Ali et al., 2021), por ello, el menor porcentaje de vaneamiento en los tratamientos T2 y T3 (Figura 32), concordó con la mejor respuesta en el índice de pilada. Durante el proceso de pilado del grano, las espiguillas estériles y los granos vanos, son considerados impurezas eliminados por el sistema de limpieza, en tanto, un mayor número de

granos no trillados que ingresan al sistema de descascarado del paddy, disminuye el índice de pilado (Olayanju et al., 2021).

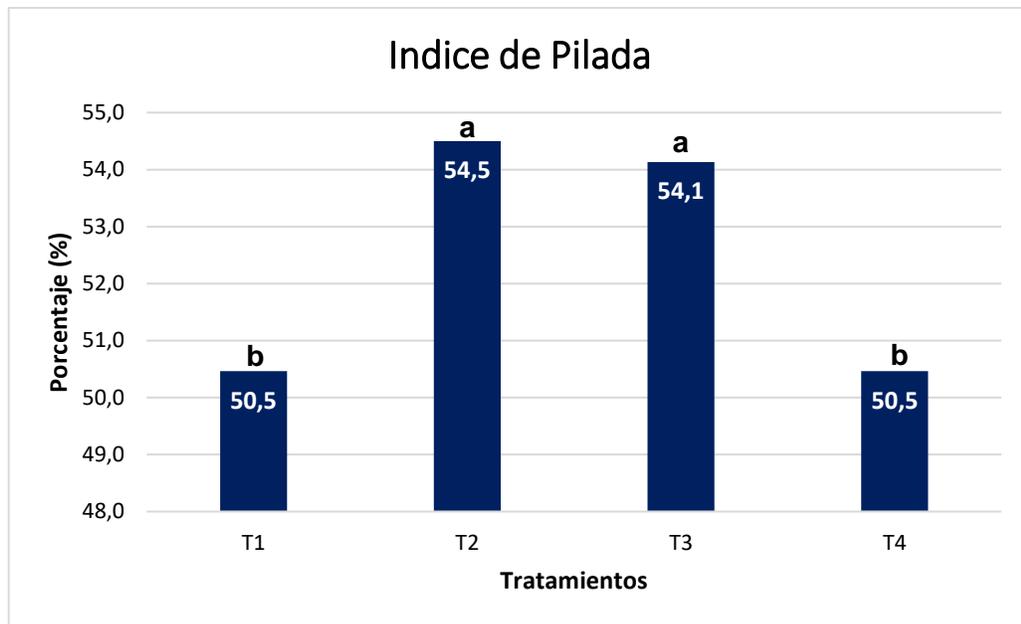


Figura 32. Valores medios para la profundidad de labranza máxima índice de pilado (%) por unidad de área muestreada (0,25 m²). Tratamientos con diferente letra son diferentes según la comparación de medias de Tukey, $p \leq 0,05$.

7.3 Análisis de costo de los sistemas de labranza implementados.

- a) Análisis de costos.** El análisis arrojó diferencias entre los diferentes sistemas de labranza evaluados. El tratamiento que tuvo menor rentabilidad fue el tratamiento 1, que, aunque fue el tratamiento con menos costos, obtuvo el menor rendimiento y por ende los menores ingresos; con una rentabilidad del 7%. En comparación con el tratamiento 3 el cual fue uno de los tratamientos que tuvo más gastos, obtuvo los mayores rendimientos y por ende se obtuvieron los mayores ingresos con una rentabilidad del 25%.

De acuerdo con la relación beneficio/costo calculado, todos los tratamientos tuvieron una relación > 1 , indicando esto que el beneficio en cada uno fue mayor que los gastos, siendo mejor en el tratamiento 3. Lo anterior puede deberse a que al estudiar la resistencia a la penetración se encontró que los valores eran menores en el tratamiento 3 comparados con los demás. Teniendo en cuenta que, a menor resistencia, mayor exploración de raíces y mayor captación de nutrientes y agua. Sumado a esto, aunque el tratamiento 1 tuvo mayor macollamiento efectivo, fue el segundo más afectado por el vaneamiento, en

cambio la afectación en el tratamiento 3 fue la menor, llevando a obtener mejores rendimientos.

Tabla 12. Indicadores económicos de cada uno de los sistemas de labranza.

Indicadores	Tratamientos			
	T1*	T2**	T3***	T4****
Costos \$	\$ 3.375.430	\$ 3.960.430	\$ 4.094.430	\$ 4.098.680
Ingresos Brutos	\$ 3.640.020	\$ 4.917.220	\$ 5.469.300	\$ 4.745.210
Ingresos Netos	\$ 264.591	\$ 956.791	\$ 1.374.871	\$ 646.531
Rendimiento (Kg)	3.534	4.774	5.310	4.607
Rentabilidad %	7%	19%	25%	14%
Beneficio/Costo	1.0	1.2	1.3	1.1
* LC, ** Eq I + R, *** R + Eq I, **** 2R + Eq I.				

8. CONCLUSIONES

Los sistemas cuatro de labranza evaluados afectaron directamente el crecimiento poblacional de las plántulas, por los cambios generados en la profundidad del suelo. Las propiedades físicas del suelo mejoraron después que se mecanizaron los tratamientos, donde la resistencia a la penetración disminuyó en los primeros centímetros del perfil. La mejor respuesta fue la del tratamiento 3 posterior a la cosecha; observándose una disminución en la compactación en los primeros centímetros suelo.

El crecimiento fisiológico de las plantas entre los tratamientos fue distinto, siendo el tratamiento 4 el que expresó un mayor número de plantas por unidad de área. Además, este tratamiento obtuvo una mayor masa seca de raíces indicando que este tipo de labranza, permite un mejor desarrollo de las raíces. Así mismo, el porcentaje de vaneamiento de los sistemas de labranza tuvieron un grado de influencia sobre el llenado del grano donde la mejor respuesta por las plantas fue en el tratamiento 3. El índice de pilada mostró resultados regulares respecto a la calidad del grano ya que los valores entre los tratamientos estuvieron por debajo del 60%, el cual es un indicativo de buen rendimiento. Por último, el rendimiento entre los tratamientos señala la importancia del orden de uso que se le da a los implementos, ya que, el tratamiento 4 tuvo un buen desarrollo en la parte radical y mayor población de plantas, pero no generó una buena producción a diferencia del tratamiento 2 y el tratamiento 3 los cuales fueron superiores.

El análisis de costos arrojó que la mayor rentabilidad y relación beneficio costo se presentó con el tratamiento 3 con un 25% y 1.3 respectivamente. Considerando estos valores, los beneficios en el crecimiento y las propiedades físicas del suelo mejoradas, este parece ser el mejor tratamiento teniendo en cuenta el orden de mecanización.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda para posteriores investigaciones ampliar el número de variables fisiológicas para tomar tasa de crecimiento, variar el número de pases de los implementos y establecer un mayor número de tratamientos. Con esto se obtendrán mejores valores en la respuesta de los sistemas de labranza con el desarrollo del cultivo de arroz.

REFERENCIAS

- Acevedo-Siaca, L. G., Coe, R., Wang, Y., Kromdijk, J., Quick, W. P. y Long, S. P. (2020).** Variation in photosynthetic induction between rice accessions and its potential for improving productivity. *New Phytologist*, 227(4), 1097-1108.
- Afriani, L., Susilo, G. E., Nawangrini, S. y Iswan, I. (2020).** Soil Shrinkage and Consolidation Study on Flood Embankments in Swamp irrigation Areas (Case Study: Tulang Bawang-Indonesia). *Civil Engineering and Architecture*, 8(6), 1225-1233.
- Ali, I., Tang, L., Dai, J., Kang, M., Mahmood, A., Wang, W. y Zhu, Y. (2021).** Responses of grain yield and yield related parameters to post-heading low-temperature stress in Japonica rice. *Plants*, 10(7), 1425.
- Alvarado Batres, C. y Barahona-Palomo, M. (2017).** Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(1), 23-33.
- Alvarado Chaves, A. (2017).** Métodos de labranza conservacionista y maquinaria para la conservación de suelos en el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. 62.
- Baloch, A. W., Soomro, A. M., Javed, M. A., Ahmed, M., Bughio, H. R., Bughio, M. S. y Mastoi, N. N. (2002).** Optimum plant density for high yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Asian J. Plant Sci*, 1(1), 25-27.
- Bangura, K., Aikins, S. H. M., Dogbe, W. y Kamara, C. S. (2016).** Effects of Tillage and Weeding Frequency on Rice Yield and Yield Components. *International journal of science: Basic and Applied Research*, 28(2), 141-150.
- Beltramo, V. D., Gómez, J. y Sierra, J. (2004).** Análisis de crecimiento y etapas de desarrollo de tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en Montería, Córdoba. *Temas Agrarios*, 9(1), 21-29.
- Bernardi, L. A. D. (2017).** Perfil del mercado de arroz. 18. Obtenido de: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/re_gionales/archivos/000030_Informes/000020_Arroz/000021_Perfil%20del%20Arroz%20-%202017.pdf
- Bernis, J. M. F. i, & Pàmies, C. B. (2004).** Variedades y mejora del arroz (*Oryza sativa*, L.). José María Franquet Bernis.
- Blake, G.R.; Hartge, K.H. (1986).** Bulk Density. In: A. Klute, ed., *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9* (2nd ed.) ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 363-375.
- Brizuela, M. (2006).** Tecnologías para las producciones agrícolas en Cuba. Instituto de Investigaciones de Mecanización Agropecuaria. La Habana. Cuba. Universidad de la Habana. 125p.
- Chen, H., Qualls, R. G. y Blank, R. R. (2005).** Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. *Aquatic Botany*, 82(4), 250-268.

- Chen, J., Yan, H., Mu, Q. y Tian, X. (2017).** Impacts of prolonged high temperature on heavy-panicle rice varieties in the field. *Chilean journal of agricultural research*, 77(2), 102-109.
- Chen, S., Wang, D., Xu, C., Ji, C., Zhang, X., Zhao, X. y Chauhan, B. S. (2014).** Responses of super rice (*Oryza sativa* L.) to different planting methods for grain yield and nitrogen-use efficiency in the single cropping season. *PloS one*, 9(8), e104950.
- Contexto ganadero. (2018).** Así recupera la labranza mínima al suelo. Obtenido de <https://www.contextoganadero.com/agricultura/asi-recupera-la-labranza-minima-al-suelo>
- Counce, P. A., Siebenmorgen, T. J., Vories, E. D. y Pitts, D. J. (1990).** Time of draining and harvest effects on rice grain yield and quality. *Journal of production agriculture*, 3(4), 436-445.
- DANE, D. A. N. de E., FEDEARROZ, F. N. de A., & FNA, F. N. del A. (2022).** Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM) Primer semestre 2022 (p. 42) [Boletín Técnico]. DANE-Fedearroz, FNA. Producción de arroz paddy verde. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/boletin_ENAM_lsem22.pdf
- Das, A., Rangappa, K., Basavaraj, S., Dey, U., Haloi, M., Layek, J. y Ngachan, S. (2021).** Conservation tillage and nutrient management practices in summer rice (*Oryza sativa* L.) favoured root growth and phenotypic plasticity of succeeding winter pea (*Pisum sativum*L.) under eastern Himalayas, India. *Heliyon*, 7(5), e07078.
- De, M., Saha, D. y Chakraborty, S. (2014).** Soil structure and strength characteristics in relation to slope segments in a degraded Typic Ustroschrepts of Northwest India. *Soil Horizons*, 55(1), 1-8.
- Deagustini, C., Domínguez, G., Agostini, M., Studdert, A. y Tourn, S. (2017).** Vicia como cultivo puente y sistemas de labranza: efecto sobre propiedades físicas del suelo. *Ciencia del suelo*, 35(2): 325-335.
- Degiovanni., V., Martínez, C. P., & Motta, F. (2010).** Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Tomo I: Capítulos 1-24. 513.
- Delgado García, J. D. (2021).** Evaluación de crecimiento y nivel sanitario del Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) utilizando como herramienta un sistema de labranza mínima en Tabio, Cundinamarca. [Tesis, Universidad de Cundinamarca Programa de Ciencias Agropecuarias Seccional Ubaté]. <http://hdl.handle.net/20.500.12558/3749>
- Dou, F., Soriano, J., Tabien, R. E. y Chen, K. (2016).** Soil texture and cultivar effects on rice (*Oryza sativa*, L.) grain yield, yield components and water productivity in three water regimes. *PloS one*, 11(3), e0150549.
- Fang, H., Zhou, H., Norton, G. J., Price, A. H., Raffan, A. C., Mooney, S. J. y Hallett, P. D. (2018).** Interaction between contrasting rice genotypes and soil physical conditions induced by hydraulic stresses typical of alternate wetting and drying irrigation of soil. *Plant and soil*, 430(1), 233-243.

- FAO (2020).** Notas sobre dos sistemas de labranza. Obtenido de <http://www.fao.org/3/x8234s/x8234s0c.htm>
- FAO (2021).** Food and agriculture organization of the United Nations. Obtenido de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Fatichi, S., Or, D., Walko, R., Vereecken, H., Young, M. H., Ghezzehei, T. A. y Avissar, R. (2020).** Soil structure is an important omission in Earth System Models. *Nature communications*, 11(1), 1-11.
- FEDEARROZ, - Fondo Nacional del Arroz; Garcés Varón, G., & Medina Rubio, J. H. (2018).** La fisiología del cultivo del arroz en el programa AMTEC. Consultado en: https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/cartilla_fisiologia.pdf
- FEDEARROZ, (F.N.A), Tirado Ospina, Y. C., & Castilla Lozano, L. A. (2019).** Guía práctica para la fertilización y nutrición del cultivo de arroz. 54. https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/cartilla_fertilizacion_nutricion_arroz.pdf
- FEDEARROZ, F., Lozano, L. A. C., & Ospina, Y. C. T. (2019).** Fundamentos técnicos para la nutrición del cultivo de arroz. 82. https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/cartilla_fundamentos_nutricion.pdf
- FEDEARROZ (2021).** Variedad Fedearroz 2020. Obtenido de: https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/Ficha_Tecnica_Fedearroz_2020.pdf
- FEDEARROZ – Portal Web. (2022).** Semilla Certificada de Arroz. Ficha técnica. Consultado en: <https://fedearroz.com.co/es/nuestros-productos/semilla-certificada/#:~:text=VARIEDAD%20FEDEARROZ%202000,virus%20de%20la%20hoja%20blanca>
- Gacitúa, E. V., & Martínez Lagos, J. (2020).** Importancia del subsolado como práctica de manejo de praderas. 260, 4. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67253/NR42459.pdf>
- Gómez-Carabalí, A., Idupulapati Madhusudana, R. y Ricaute, J. (2010).** Differences in root distribution, nutrient acquisition and nutrient utilization by tropical forage species grown in degraded hillside soil conditions¹. *Acta Agronómica*, 59(2), 197-210.
- Grossnickle, S. C. (2005).** Importance of root growth in overcoming planting stress. *New forests*, 30(2), 273-294.
- Grossman R.B.; T. G. Reinsch. (2003).** Bulk density and linear extensibility. En: *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. p. 201-254.
- Gu, J., Zhou, Z., Li, Z., Chen, Y., Wang, Z. y Zhang, H. (2017).** Rice (*Oryza sativa* L.) with reduced chlorophyll content exhibit higher photosynthetic rate and efficiency, improved canopy light distribution, and greater yields than normally pigmented plants. *Field Crops Research*, 200, 58-70.

- Hakro, M. R., Kumar, A., Almani, Z., Ali, M., Fediuk, R., Klyuev, S. y Fathi, D. (2022).** Compaction Characteristics and Permeability of Expansive Shale Stabilized with Locally Produced Waste Materials. *Materials*, 15(6), 2138.
- Hernández Jiménez, A., Vera Macías, L., Naveda Basurto, C. A., Guzmán Cedeño, Á. M., Vivar Arrieta, M., Zambrano, T. R., Mesías Gallo, F., Ormanza, K., León Aguilar, R. V., & López Alava, G. A (2017).** Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 50–56.
- Herrick, J.E., Jones, T.L. (2002).** A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 66, 1320–1324.
- Jat, H. S., Datta, A., Choudhary, M., Yadav, A. K., Choudhary, V., Sharma, P. C. y McDonald, A. (2019).** Effects of tillage, crop establishment and diversification on soil organic carbon, aggregation, aggregate associated carbon and productivity in cereal systems of semi-arid Northwest India. *Soil and Tillage Research*, 190, 128-138.
- Jaramillo, D. F. (2002).** INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias. Medellín. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ji, B., Hu, H., Zhao, Y., Mu, X., Liu, K. y Li, C. (2014).** Effects of deep tillage and straw returning on soil microorganism and enzyme activities. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Kega, V. M., Gikonyo, E. W., Muriithi, C. W., Macharia, J. M. K. y Muthoni, L. (2015).** Rice cultivation manual. Kenya Agricultural and Livestock Research Organization, 63.
- Kusumawardani, P. N., Cheng, W., Purwanto, B. H. y Utami, S. N. H. (2017).** Changes in the soil pH, EC, available P, DOC and inorganic N after land use change from rice paddy in northeast Japan. *Journal of Wetlands Environmental Management*, 5(2), 53-61
- Lampurlanés, J., Cantero-Martínez, C. (2003).** Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95, 526–536.
- Leverón Sosa E.R (2020).** Análisis de los beneficios de la utilización de cultivos de cobertura: Revisión de literatura [Tesis de Pregrado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano; [consultado el 12 de jun. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6893/1/CPA-2020T066.pdf>.
- Li, L., Wang, L., Liu, L. M., Hou, Y. X., Huang, S. W. y Li, Q. Q. (2017).** Infection process of *Burkholderia glumae* in rice spikelets. *Journal of Phytopathology*, 165(2), 123-130.
- Li, Y., Li, J., Gao, L. y Tian, Y. (2018).** Irrigation has more influence than fertilization on leaching water quality and the potential environmental risk in excessively fertilized vegetable soils. *PloS one*, 13(9), e0204570.

- Liu, Z., Cao, S., Sun, Z., Wang, H., Qu, S., Lei, N. y Dong, Q. (2021).** Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12.
- LocThuya, T. y Saitoh, K. (2017).** Effect of shading on dry-matter production, yield and grain appearance quality of Vietnamese rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in the paddy field. *Scientific Reports of the Faculty of Agriculture, Okayama University*, 106, 13-20.
- López, A. y Tamara, J. (2002).** Análisis de crecimiento y desarrollo y componentes del rendimiento de tres materiales de arroz (*Oryza sativa*) en San Bernardo del Viento, Córdoba. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Córdoba, p.28-49.
- Lynch, J. P., Chimungu, J. G. y Brown, K. M. (2014).** Root anatomical phenes associated with water acquisition from drying soil: targets for crop improvement. *Journal of Experimental Botany*, 65(21), 6155-6166.
- Mallareddy, M. y Padmaja, B. (2013).** Response of rice (*Oryza sativa*) varieties to nitrogen under aerobic and flooded conditions. *Indian Journal of Agronomy*, 58(4), 500-505.
- Martínez, S. A. (2016).** Influencia de las Altas Temperaturas en el Vaneamiento de dos Materiales de Arroz (*Oryza Sativa* L. Subsp. Japónica).
- Mohanty, s. (2013).** Trends in global rice consumption. En: *Rice Today*, <http://irri.org/rice-today/trends-inglobal-rice-consumption>.
- Moreno Merino, L., Castaño Castaño, S., Jiménez Hernández, M. E., & De la Losa Román, A. (2008).** Diseño, ejecución y puesta a punto de procedimientos de laboratorio y métodos de campo para la caracterización del comportamiento hidráulico de la zona no saturada (p. 51)
- Motta de Muñoz, B., Rodríguez, C., Montenegro, H., & Marulanda, J. (1990).** Métodos analíticos del laboratorio de suelos (No. Doc. 22687) CO-BAC, Bogotá)
- Muñoz D.A (2016).** Diagnóstico de la degradación de los suelos en cultivos de arroz riego intermitente y seco bajo el sistema de labranza tradicional aplicado, en los llanos del Casanare [Tesis de postgrado]. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; [consultado el 31 de jul. De 2021]. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57887/2016David_Alejandro_Mu%C3%Boz.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Muñoz, Lozada G. (2016).** Evaluación de algunas características físicas de un suelo dedicado a la siembra directa y convencional de maíz en la zona de Babahoyo, Los Ríos. Tesis de Titulación, Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. 54p.
- Murata, Y. y Matsushima, S. (1978).** Rice. En: Evans L. (Ed). *Crop Physiology*. Cambridge University Press, Cambridge, 73-99.
- Nakandakari, L. (2017).** Phytosanitary problems in rice cultivation (*Oryza sativa* L). Trabajo de grado (Pregrado). Universidad Nacional La Agraria. 60p. Consultado en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2988/H10-N35T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Olayanju, A. T., Okonkwo, C. E., Ojediran, J. O., Hussain, S. Z., Dottie, E. P. y Ayoola, A. S. (2021).** Interactive effects and modeling of some processing parameters on milling, cooking, and sensory properties for Nigerian rice using a one-step rice milling machine. *Heliyon*, 7(4).
- Olmos, S. (2007).** Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz. Cátedra de Cultivos II, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. Corrientes, Argentina.
- Ortiz Londoño, H. M., Gómez Mora, J. D., & Castilla Lozano, L. A. (2021).** Agricultura de precisión: alternativa para una mayor eficiencia en el cultivo. 69(555), 56.
- Osanyinpeju, K. L. y Dada, P. O. (2018).** Soil Porosity and Water Infiltration as Influenced by Tillage Practices on Federal University of Agriculture Abeokuta, Ogun State, Nigeria *Soil. Int. J. Latest Technol. Eng. Manag. Appl. Sci*, 7, 2278-2540.
- Ozpinar, S. y Baytekin, H. (2006).** Effects of tillage on biomass, roots, N-accumulation of vetch (*Vicia sativa* L.) on a clay loam soil in semi-arid conditions. *Field crops research*, 96(2-3), 235-242.
- Palencia, G., Mercado, T., y Combatt, E. 2006.** Estudio agrometeorológico del Departamento de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. Graficas del Caribe. 126p
- Palojärvi, A., Kellock, M., Parikka, P., Jauhiainen, L. y Alakukku, L. (2021).** Corrigendum: Tillage System and Crop Sequence Affect Soil Disease Suppressiveness and Carbon Status in Boreal Climate. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1291.
- Pandey, B. P. y Kandel, T. P. (2020).** Response of Rice to Tillage, Wheat Residue and Weed Management in a Rice-Wheat Cropping System. *Agronomy*, 10(11), 1734.
- Paul, O. (2018).** Tiller productivity and survival as determinants of grain yield for selected rice germplasm (Doctoral dissertation, Makerere University Kampala).
- Petro, E. E. (2021).** Caracterización fenotípica de un grupo de diversidad de arroz (*Oryza sativa* L.) de la subespecie indica en respuesta al estrés por baja intensidad lumínica. Universidad Nacional de Colombia, 95.
- Pinto Falconi L.J (2020).** Mecanización para la agricultura sostenible: los enfoques tecnológicos en la agricultura y el cambio de énfasis de labranza convencional a conservacionistas. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Ritsema, C.; T. M. Steenhuis; J. Y. Parlange and Dekker, L. W. (1996).** Predicted and observed finger diameters in field soils. *Geoderma* 70: 185-196.
- Rodríguez Delgado, I., Pérez Iglesias, H. I., & García Batista, R. M. (2021).** Degradación del suelo en sistemas agrícolas de la granja Santa Inés, provincia de El Oro, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(S2), 557-564.
- Rodríguez, L. A., & Valencia, J. J. (2012).** Impacto del tráfico de equipos durante la cosecha de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). *Revista Brasileira de*

Engenharia Agrícola e Ambiental, 16(10), 1128-1136.
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001000014>

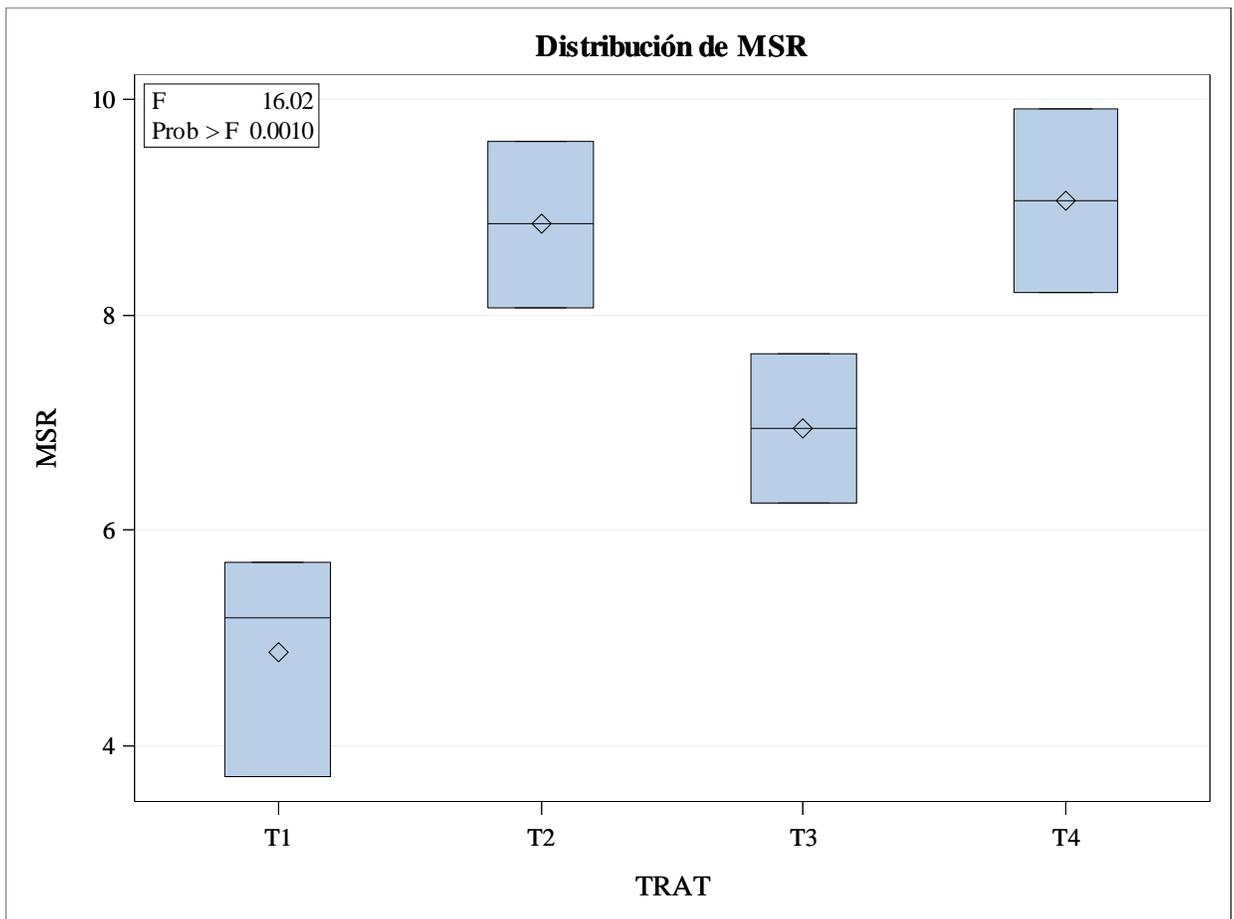
- Rubio Gutiérrez, A. M. (2010).** La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. universidad de Sevilla.
- Rucks L, García F, Kaplan A, Ponce de León J, Hill M (2004).** Propiedades Físicas del Suelo. Facultad de Agronomía, Dpto. Suelos y aguas. Universidad la Republica. Montevideo-Uruguay.
- Salamanca, G., Osorio, M., Álvarez, H. y Rodríguez, O.A. (2007).** Valoración de los índices de pilada de algunas variedades de arroz colombiano. 4 p.
- Salazar Mora L. J (2022).** Prácticas agronómicas para mejoras de suelos en cultivos agrícolas en la provincia de Los Ríos. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Schuh, W. (1990).** Influence of tillage systems on disease intensity and spatial pattern of Septoria leaf blotch. *Phytopathology*, 80(12), 1337-1340.
- Selker, J.S., Duan, J., & Parlange, J. (1999).** Green and Ampt infiltration into soils of variable pore size with depth. *Water Resources Research*, 35: doi: 10.1029/1999WR900008. issn: 0043-1397
- Shahzad, M., Farooq, M., Jabran, K., Yasir, T. A. y Hussain, M. (2016).** Influence of Various Tillage Practices on Soil Physical Properties and Wheat Performance in Different Wheat-based Cropping Systems. *International Journal of Agriculture & Biology*, 18(4).
- Song, K., Yang, J., Xue, Y., Lv, W., Zheng, X. y Pan, J. (2016).** Influence of tillage practices and straw incorporation on soil aggregates, organic carbon, and crop yields in a rice-wheat rotation system. *Scientific Reports*, 6(1), 1-12.
- Souza, N. M. D., Marschalek, R., Sangoi, L. y Weber, F. S. (2017).** Spikelet sterility in rice genotypes affected by temperature at microsporogenesis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21, 817-821.
- Suralta, R. R. y Yamauchi, A. (2008).** Root growth, aerenchyma development, and oxygen transport in rice genotypes subjected to drought and waterlogging. *Environmental and Experimental Botany*, 64(1), 75-82.
- Tatsumi, K., Kuwabara, Y. y Motobayashi, T. (2020).** Photosynthetic light-use efficiency of rice leaves under fluctuating incident light. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1), e20030.
- Țenu, I., Jităreanu, G., Muraru-Ionel, C., Cojocariu, P. y Muraru, V. M. (2009).** The impact of mechanization technologies on soil. *Environmental Engineering and Management Journal*, 8(5), 1263-1267.
- Tian, G., Gao, L., Kong, Y., Hu, X., Xie, K., Zhang, R. y Guo, S. (2017).** Improving rice population productivity by reducing nitrogen rate and increasing plant density. *PloS one*, 12(8), e0182310.
- Ujoh, F. T. y Ujoh, F. (2014).** Effects of different tillage operations on rice yield at Yandev, Central Nigeria. *Agriculture Science Developments*, ISSN, 2306-7527.
- Valero Mora, M. R. (2020).** Sistemas de mecanización de suelos arroceros y sus efectos degradativos sobre la producción de arroz [Universidad técnica de

- Babahoyo; facultad de ciencias agropecuarias carrera de ingeniería agronómica]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8420>
- Vallejo-Quintero, V. E. (2013).** Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia forestal*, 16(1), 83-99.
- Vongxayya, K., Jothityangkoon, D., Ketthaisong, D., Mitchell, J., Xangsayyasane, P. y Fukai, S. (2019).** Effects of introduction of combine harvester and flatbed dryer on milling quality of three glutinous rice varieties in Lao PDR. *Plant Production Science*, 22(1), 77-87.
- Wang, L., Deng, F. y Ren, W. J. (2015).** Shading tolerance in rice is related to better light harvesting and use efficiency and grain filling rate during grain filling period. *Field Crops Research*, 180, 54-62.
- Xomphoutheb, T., Jiao, S., Guo, X., Mabagala, F. S., Sui, B., Wang, H. y Zhao, X. (2020).** The effect of tillage systems on phosphorus distribution and forms in rhizosphere and non-rhizosphere soil under maize (*Zea mays* L.) in Northeast China. *Scientific reports*, 10(1), 1-9.
- Yamauchi, T., Tanaka, A., Inahashi, H., Nishizawa, N. K., Tsutsumi, N., Inukai, Y. y Nakazono, M. (2019).** Fine control of aerenchyma and lateral root development through AUX/IAA-and ARF-dependent auxin signaling. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(41), 20770-20775.
- Yang, C., Yang, L., Yang, Y. y Ouyang, Z. (2004).** Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. *Agricultural Water Management*, 70(1), 67-81.
- Yang, D., Liu, Y., Wang, Y., Gao, F., Zhao, J., Li, Y. y Li, X. (2020).** Effects of soil tillage, management practices, and mulching film application on soil health and peanut yield in a continuous cropping system. *Frontiers in microbiology*, 3254.
- Yeboah, S., Zhang, R., Cai, L., Li, L., Xie, J., Luo, Z. y Wu, J. (2016).** Tillage effect on soil organic carbon, microbial biomass carbon and crop yield in spring wheat-field pea rotation. *Plant, Soil and Environment*, 62(6), 279-285.
- Yuan-zhi, Y. (2015).** Effects of ridge tillage on photosynthesis and root characters of rice. *Chilean journal of agricultural research*, 75(1), 35-41.
- Yuncheng, L., Siming, H. y Xiaoxia, W. (2002).** Soil water content and crop yield effects of mechanized conservative tillage-cultivation system for dryland winter wheat in the loess tableland. *T Chinese Soc Agric Engin*, 4.
- Zapa Oviedo, P.A (2020).** Acompañamiento del agrónomo del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), variedad Fedearroz 473 en la finca la zona, ubicada en pueblo nuevo - córdoba [Tesis de pregrado no publicada]. Universidad de Córdoba.

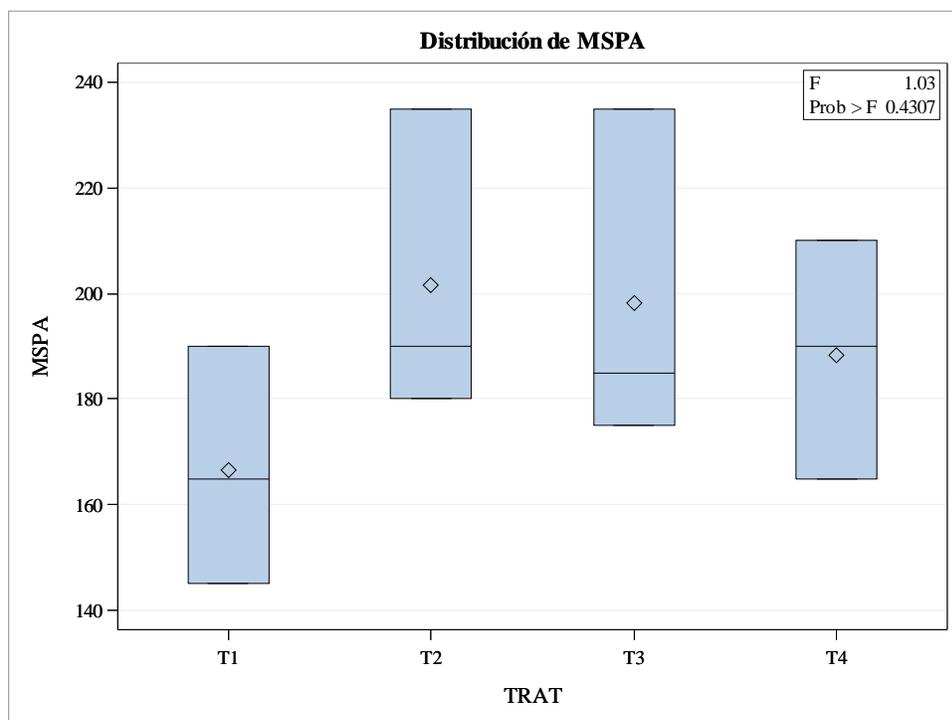
ANEXOS.

Variables de Crecimiento y Desarrollo.

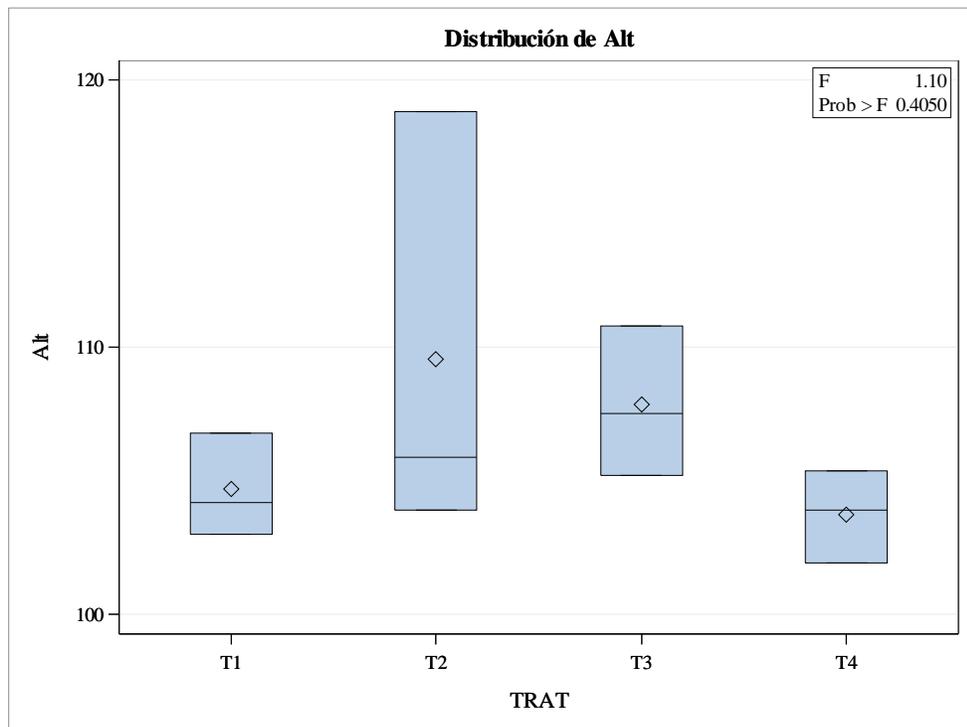
- **MASA SECA DE RAICES.**



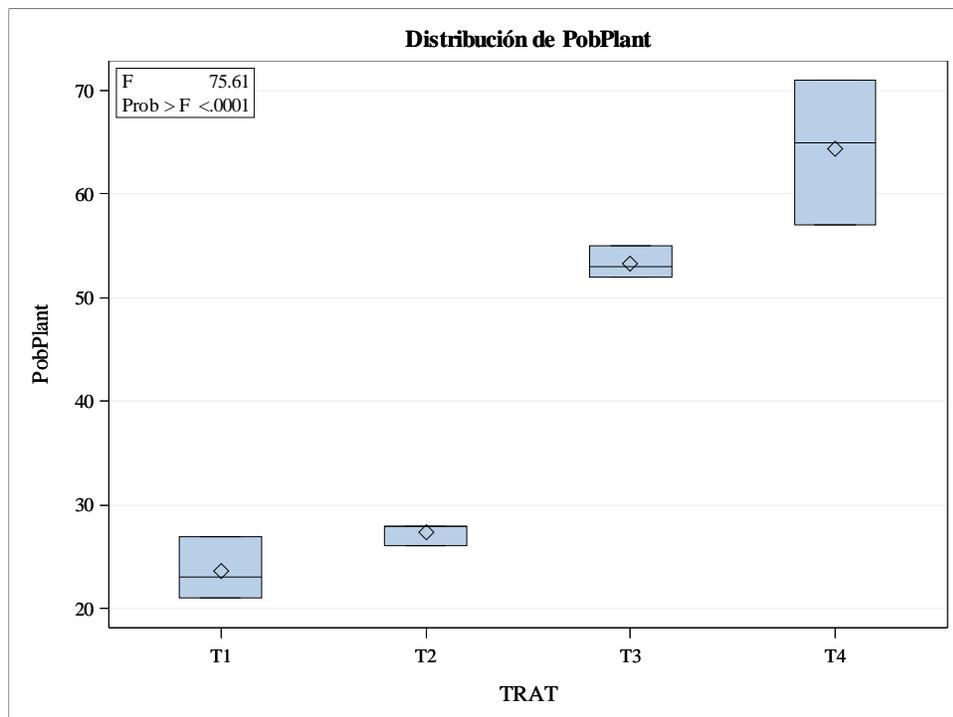
- **MATERIA SECA DE LA PARTE AEREA.**



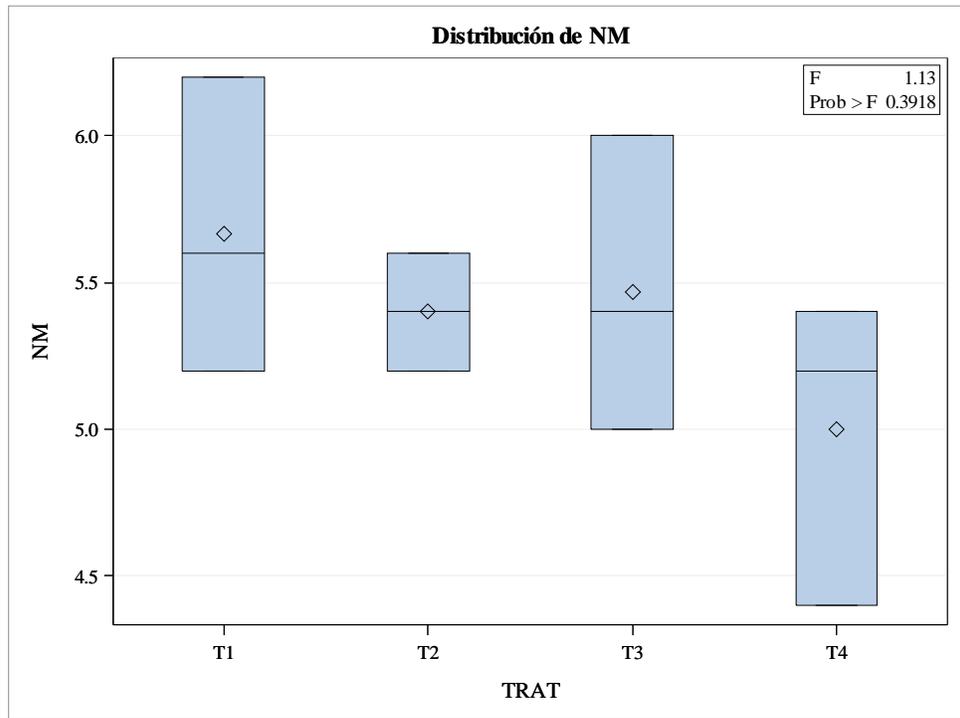
- **ALTURA DE PLANTAS.**



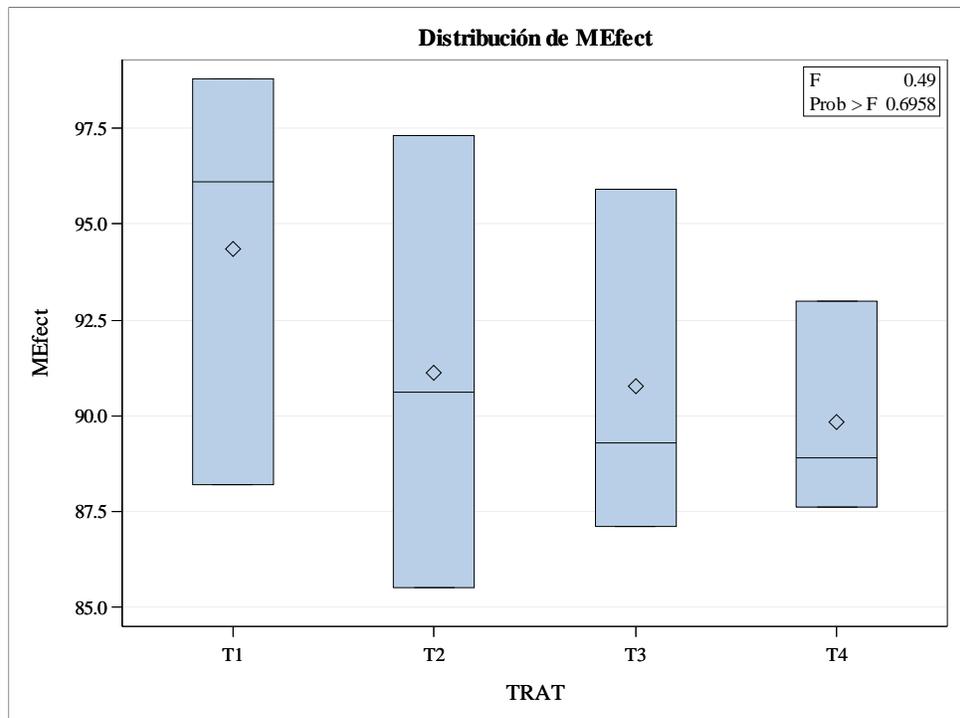
- **POBLACION DE PLANTAS.**



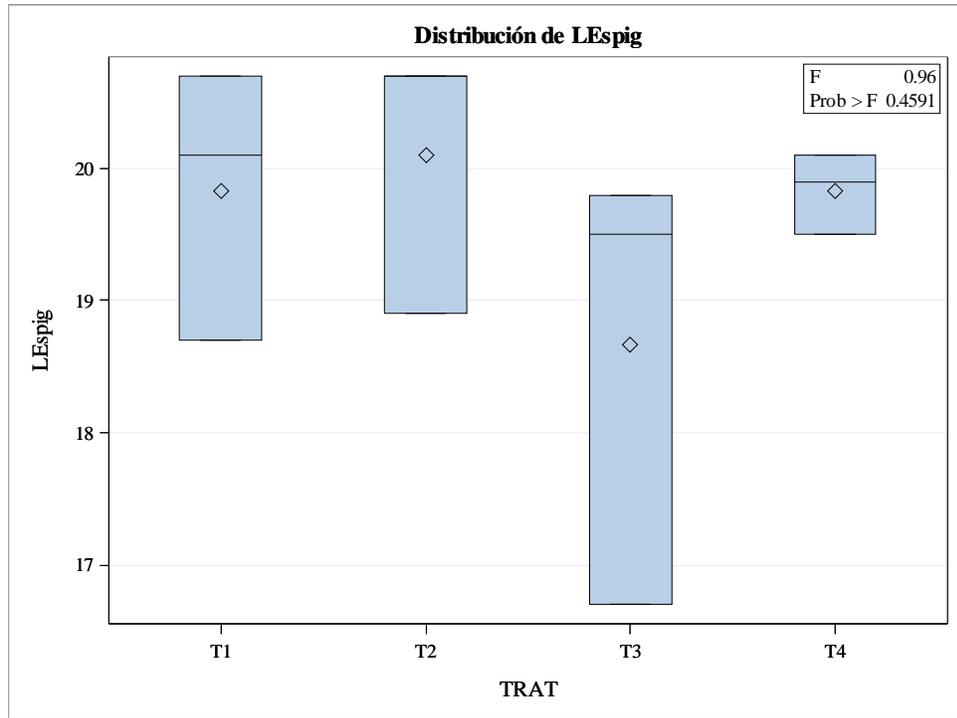
- **NUMERO DE MACOLLAS.**



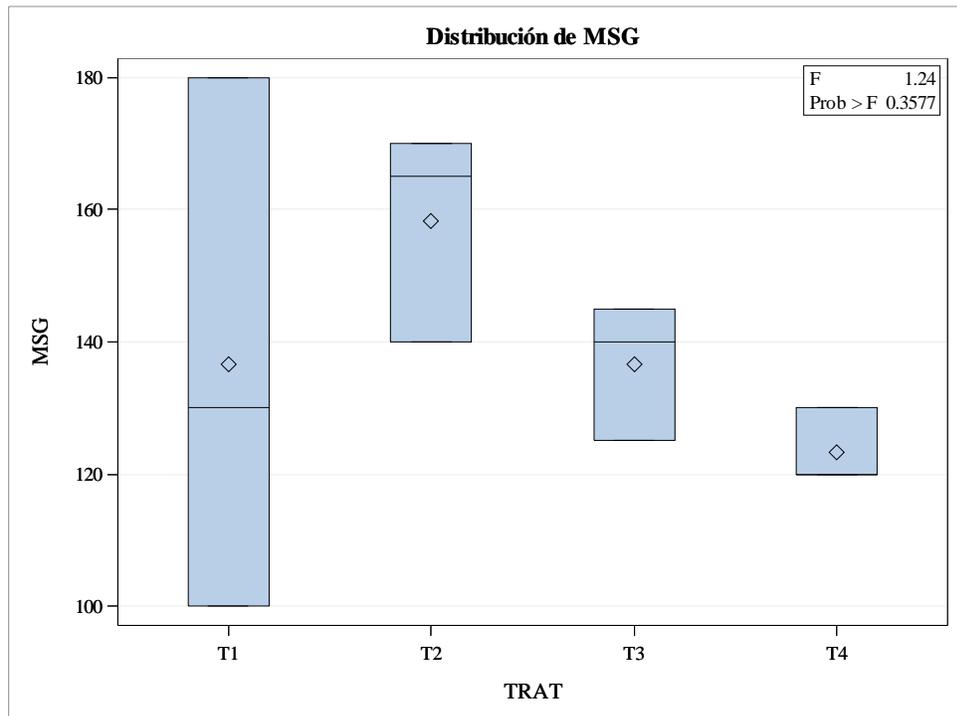
- **MACOLLAMIENTO EFECTIVO.**



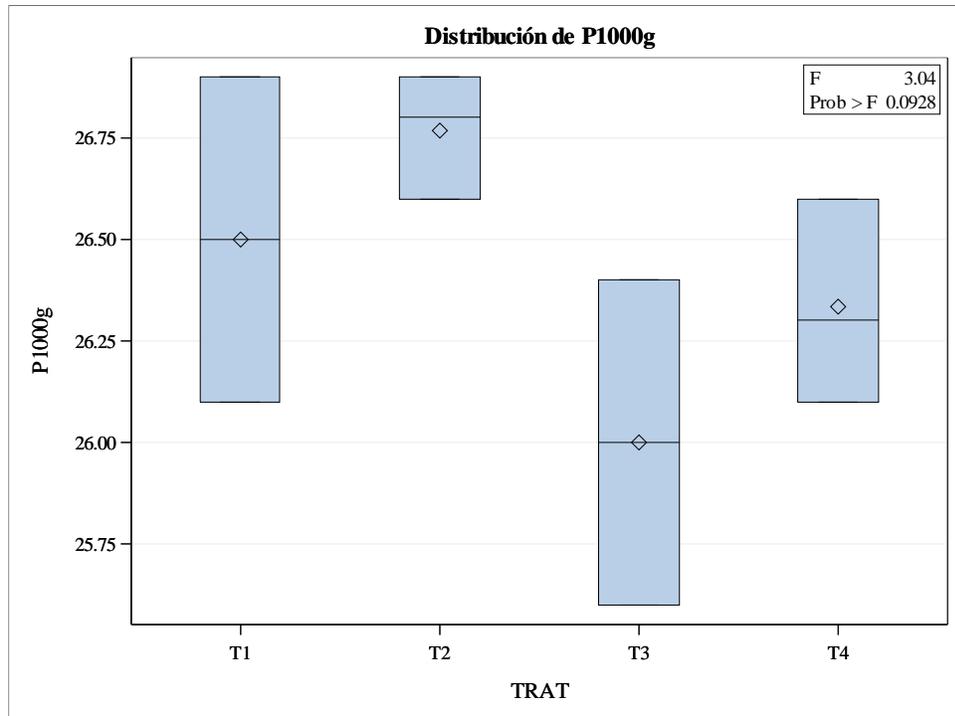
- **LONGITUD DE ESPIGAS.**



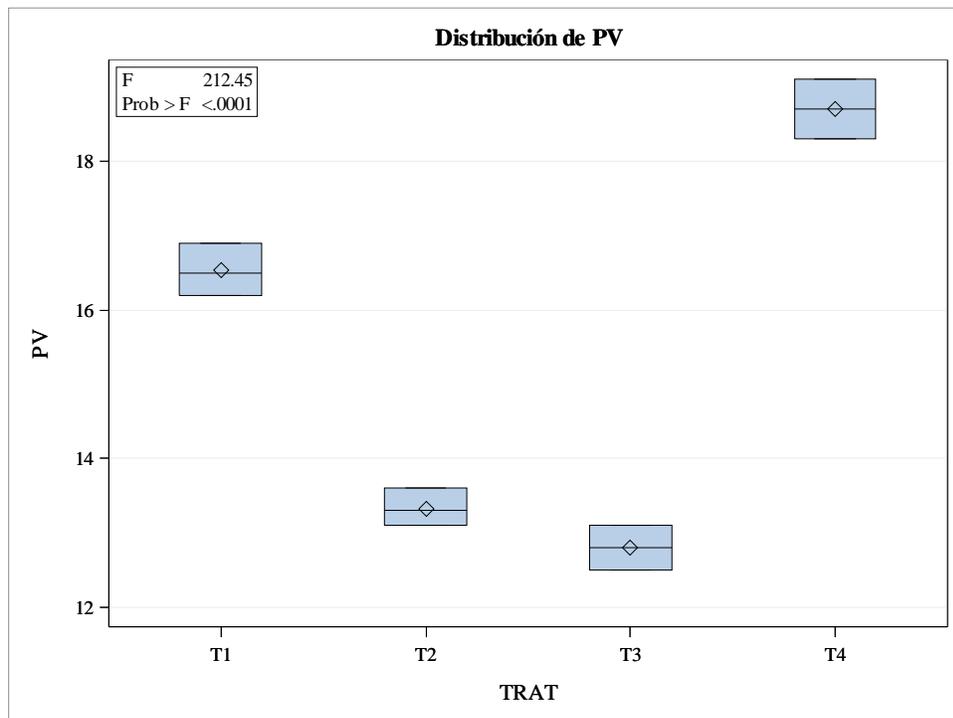
- **MASA SECA DEL GRANO.**



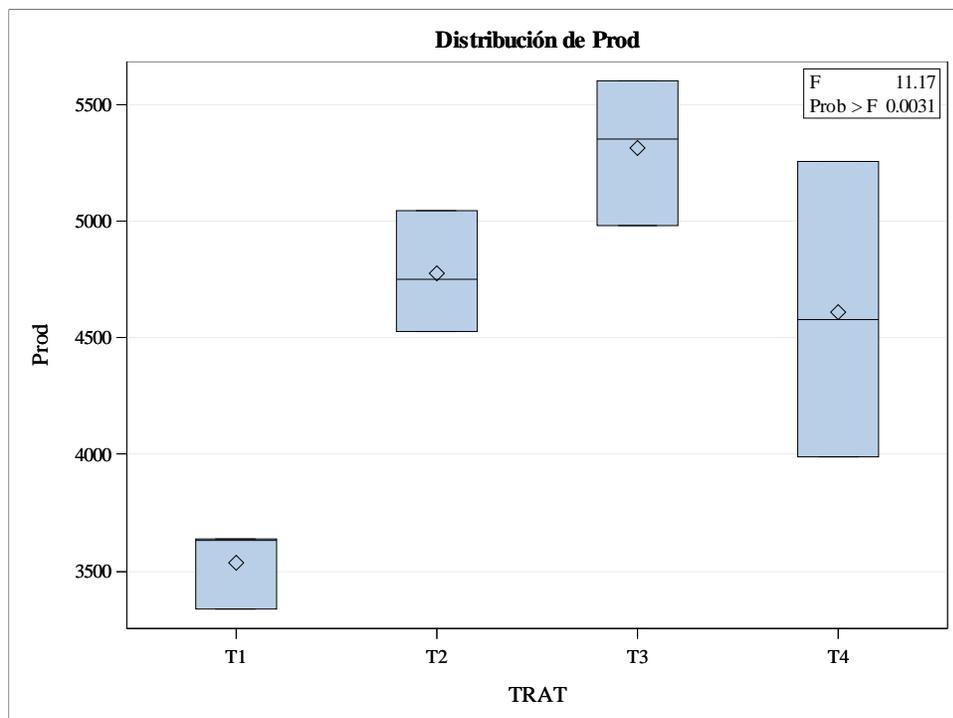
- PESO DE 1000 GRANOS.



- VANEAMIENTO.



- **RENDIMIENTO.**



CALIDAD MOLINERA.

- **INDICE DE PILADA.**

