



Fecha de recibido: 12-06-2023

Fecha de aceptado: 05-10-2023

DOI: 10.22490/21456453.6886

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) COMPARANDO DOS MÉTODOS DE PREPARACIÓN DEL SUELO

RICE (*Oryza sativa* L.) YIELD EVALUATION COMPARING TWO SOIL PREPARATION METHODS

¹Jordan Alexis Castillo Coronado

²Diana Carolina Polanía Montiel

³Juan Gonzalo Ardila Marín

¹Ingeniero Agrícola, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.
Lubey98@hotmail.com

²Magíster en Geomática, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.
carolina.polania@usco.edu.co

³Magíster en Gestión Energética Industrial, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.
juan.ardila@usco.edu.co

Citación: Castillo, J., Polanía, D. y Ardila, J. (2024). Evaluación del rendimiento de arroz (*Oryza sativa* L.) comparando dos métodos de preparación del suelo.

Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 15(2), 91-112.

<https://doi.org/10.22490/21456453.6886>

RESUMEN

Contextualización: el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), en todo su proceso vegetativo genera en el suelo aumento de la densidad aparente y de la resistencia a la penetración. Los costos de producción del cultivo de arroz se distribuyen en: preparación y adecuación del suelo (20%), siembra (10%), labores culturales que incluyen riego y aplicación de insumos como abonos y plaguicidas (50%) y cosecha (20%). Siendo la preparación un componente representativo sobre el cual es posible incidir buscando su reducción.

Vacío de conocimiento: al ser un cultivo de alto rendimiento económico y estar poco tecnificado en el departamento del Huila (Colombia), se busca la implementación de arados de conservación que aporten beneficios económicos y ambientales a la comunidad.

Propósito: con el afán de promover una producción y una agricultura más sostenible y de mejorar las técnicas de labranza mecanizada en el municipio de Palermo, se propuso evaluar las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del cultivo de arroz, modificando la preparación convencional con rastra por el uso del cincel.

Metodología: el área experimental conformada por una hectárea se dividió en parcelas experimentales, T1: Una pasada de cincel vibratorio, y T2: Dos pasadas de arado convencional (rastra), se evaluaron

las propiedades físicas del suelo (Densidad Real, Densidad Aparente, Porosidad y Textura) y se realizó seguimiento fenológico al desarrollo del cultivo (Germinación, Máximo Macollamiento, Máximo Embuchamiento, Madurez y Cosecha). Las pruebas de suelo se realizaron antes y después de la labranza entre los 15 y 20 cm de profundidad. El análisis estadístico se realizó mediante Análisis de Varianza (ANOVA) y gráficamente, el análisis técnico económico se realizó con base en la producción y el costo de operación entre los dos tipos de labranza.

Resultados y conclusiones: los resultados mostraron que después de la preparación del suelo la densidad aparente disminuyó en un 5,0% para T1 y 13,5% para T2; igualmente estos efectos conllevaron a que la porosidad aumentará 13,6% y 29,34%, respectivamente, y que los costos de producción fueran \$1159,9 USD para T1 y \$1222,2 USD para T2. Al finalizar se concluye que, al evaluar el rendimiento a la cosecha, no se presentaron diferencias significativas en la producción por efecto del mecanizado, pero se observó estadísticamente diferencia entre el costo de la labranza convencional y la reducida, siendo ésta última 148,9% más económica y menos agresiva para el suelo.

Palabras clave: compactación del suelo, labranza convencional, labranza primaria, labranza de conservación

ABSTRACT

Contextualization: The cultivation of rice (*Oryza sativa* L.) throughout its vegetative process generates an increase in bulk density and penetration resistance of soil. Rice crop production costs are distributed in soil preparation and adaptation (20%), planting (10%), cultural work, including irrigation and application of inputs such as fertilizers and pesticides (50%), and harvesting (20%). Preparation is a representative component on which it is possible to have an impact to reduce it.

Knowledge gap: As it is a high economic yield crop and not very technified in the department of Huila (Colombia), it is sought to implement conservation plows that provide economic and environmental benefits to the community.

Purpose: Aiming to promote more sustainable production and agriculture and to improve mechanized tillage techniques in the municipality of Palermo, it was proposed to evaluate the physical properties of the soil and the yield of the rice crop, modifying conventional harrow preparation with the use of tiller.

Methodology: The experimental area of one hectare was divided into experimental plots, T1: One pass of vibratory tiller, and T2: Two passes of conventional plowing (harrow). The physical properties of the soil were evaluated (True den-

sity, bulk density, porosity, and texture) and the phenological monitoring of the crop development was carried out (germination, maximum tillering, maximum panicle formation, maturity, and harvest). Soil tests were conducted before and after tillage between 15 and 20 cm depth. The statistical analysis was performed using the Analysis of Variance (ANOVA) and the techno-economic analysis was carried out based on production and operating costs between the two types of tillage.

Results and conclusions: The results showed that after soil preparation, bulk density decreased by 5.0% for T1 and 13.5% for T2; these effects also led to an increase in porosity of 13.6% and 29.34%, respectively, and production costs of USD1159.9 for T1 and USD1222.2 for T2. At the end of the study, it was concluded that, when evaluating yield at harvest, there were no significant differences in production because of mechanized tillage. However, a statistical difference was observed between the cost of conventional and reduced tillage, the latter being 148.9% more economical and less aggressive for the soil.

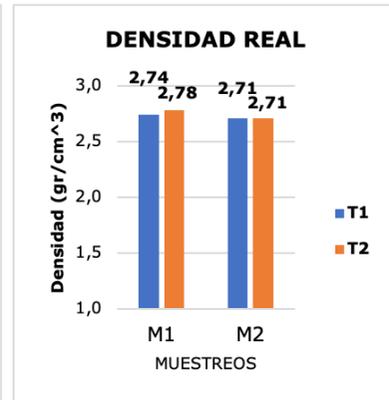
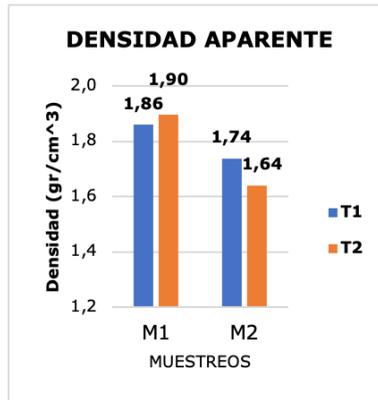
Keywords: conservation tillage, conventional tillage, soil compaction, primary tillage

RESUMEN GRÁFICO

Análisis físico

VARIABLES EVALUADAS:

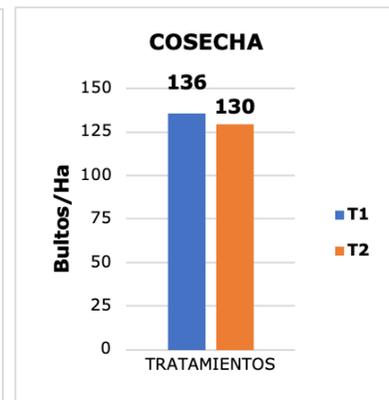
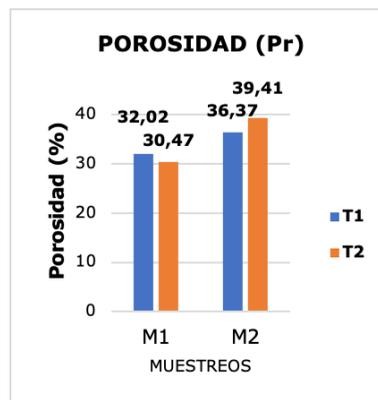
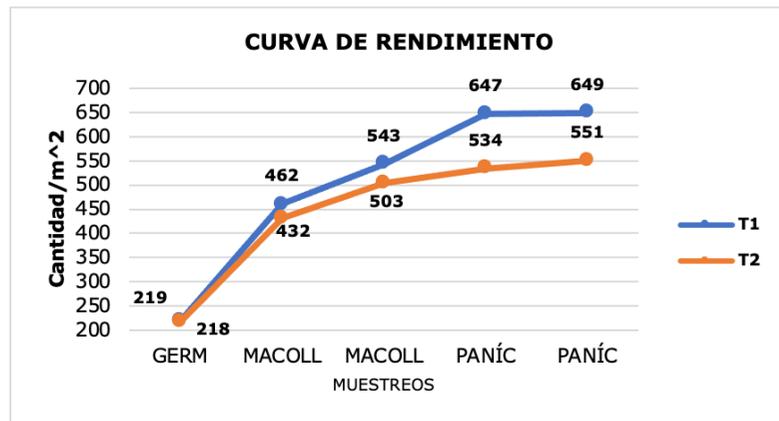
- Densidad aparente (Da)
- Densidad real (Dr)
- Porosidad (Pr)
- Textura



Seguimiento fenológico al cultivo

VARIABLES EVALUADAS:

- Germinación
- Máximo macollamiento
- Máximo embuchamiento
- Madurez
- Cosecha



Esquema metodológico y descripción de resultados

Fuente: autores.

INTRODUCCIÓN **1**

El arroz (*Oryza sativa L.*) es uno de los principales productos de explotación en Colombia (Fernández, 2023), pero su cultivo mecanizado genera tránsito continuo y excesivo causando un aumento de la densidad aparente y de la resistencia a la penetración en el suelo (Marey et al., 2023). Por esto, de forma contradictoria, la labranza convencional termina por disminuir la macro porosidad y aumentar la densidad de los suelos en el largo plazo, induciendo a la compactación (Adesoyin et al. (2023); Gómez-Calderón et al. (2018)); por esta razón, su conocimiento resulta clave para un efectivo manejo de la condición física del suelo en la producción, ya que las plantas requieren de un sistema poroso continuo con buen drenaje para su desarrollo radicular (Jaurixje et al., 2013; Nawaz et al., 2017; Sharma y Kumar, 2023). Así, corregir la compactación recurre a arados específicos para aumentar la capacidad de retención de humedad (Blanco y Lal, 2023), pero debe evitar el sobremecanizado para mantener la estructura del suelo (Ávila, 2015). Con este fin, se hace necesaria la adopción de tecnologías de conservación para el cultivo de arroz, haciendo uso de labranza reducida (Saini et al., 2022), lo cual parece ser una opción ecológica para los agricultores, el medio ambiente y para mantener

la productividad. De ese modo, es importante evaluar el impacto de los sistemas de cultivo y de conservación en las propiedades del suelo, el rendimiento del grano y la productividad (Kumar et al., 2022; Nawaz et al., 2017).

Estudios previos en otros cultivos y territorios han encontrado que: en el Departamento del Casanare la implementación del cincel dio como resultado una mayor conservación de los suelos, disminución de los costos de preparación y mejoramiento del drenaje interno del suelo (Chinchilla, 2003); así mismo, en suelos algodoneros del Cesar se observó que el uso del cincel fue el único que disminuyó el asentamiento de 1.83 a 1.67 gr cm⁻³; también se registraron incrementos en la porosidad con un 15% respecto a la labranza convencional (García y Durán, 1998). Así planteado, el valor teórico y objetivo del proyecto se centra en el conocimiento de la relación labranza-propiedades del suelo, aunque su propósito real es obtener como factor de respuesta el rendimiento del cultivo. De ese modo, se establece la incidencia del mecanizado en las propiedades físicas y en la producción del cultivo, lo cual, se desconoce para la región de la Granja Experimental USCO en el distrito de riego El Juncal.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La siguiente investigación se realizó en la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana situada en Palermo (Huila) al suroeste de Colombia (con latitud $2^{\circ} 53' 32''$ N y longitud $75^{\circ} 18' 24''$ W). El clima de la zona es tropical ecuatorial, con una altura de 462 m.s.n.m., temperatura promedio de 27°C , humedad relativa del 64% y una precipitación anual que oscila entre los 1300 y 1400 mm año⁻¹. Así mismo, el área experimental es de una hectárea dividida en parcelas experimentales y estas, a su vez, en tres subparcelas, como puede apreciarse en la Figura 1.

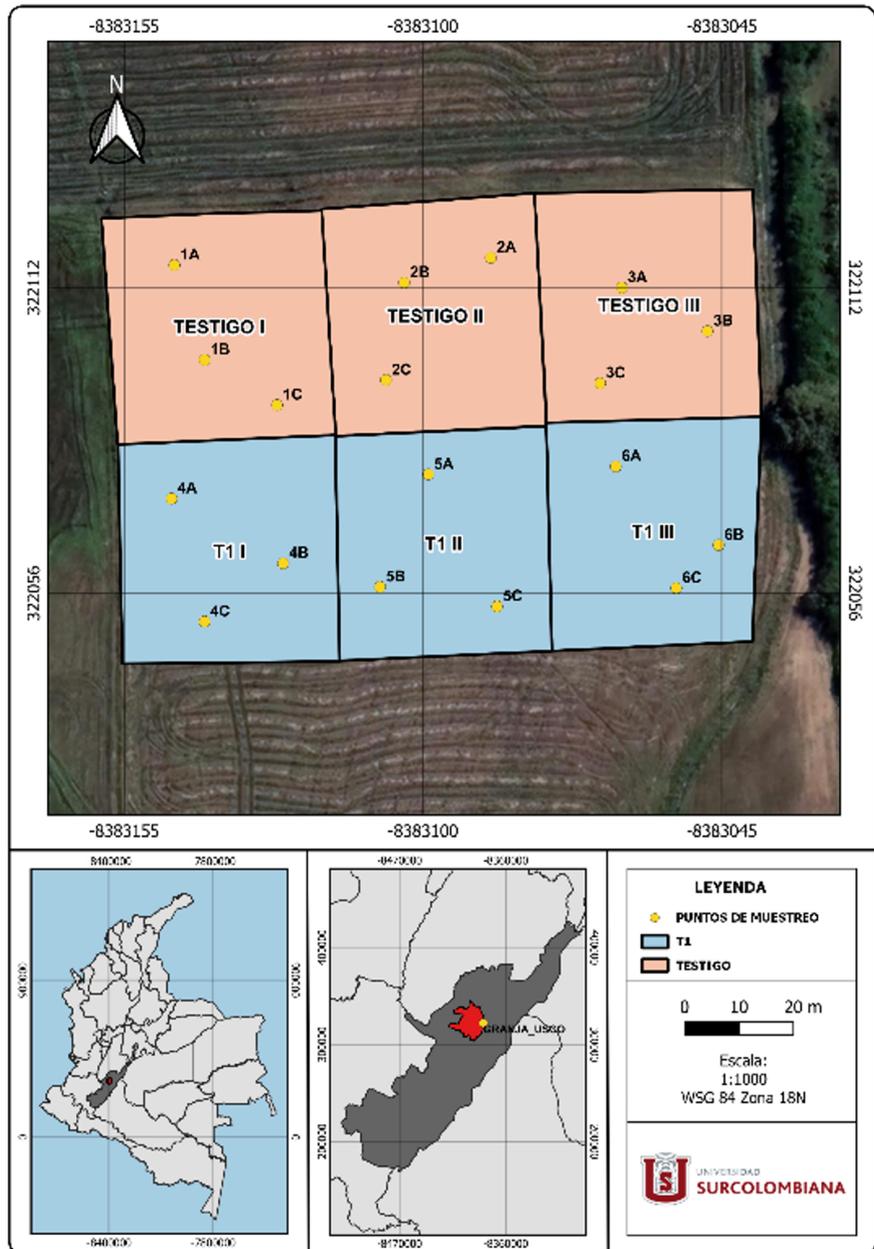


Figura 1. Área de trabajo, ubicación de tratamientos y puntos de muestreo de suelo

Fuente: autores.

Diseño experimental

El diseño experimental fue factorial simple en parcelas divididas, para el cual los tratamientos se distribuyeron en T1: un pase de cincel vibratorio (de cinco cuerpos), y T2: dos pases perpendiculares de rastra (de 20 discos)-Testigo. Así mismo, los puntos de muestreo se establecieron aleatoriamente de tres por subparcela mediante el método de hiper-cubo latino condicionado (cHL), tipo de muestreo usado para obtener muestras en áreas con exhaustiva información sobre variables de sitio (Liu *et al.*, 2015; Puerres *et al.*, 2021). Se usó el programa de Información Geográfica QGIS® y se programó el algoritmo cHL por medio del paquete de RStudio®, este algoritmo permite la selección aleatoria estratificada, tal que proporciona de forma eficiente las ubicaciones que permiten muestrear variables

sobre un área dada. Una vez ubicados los puntos, se llevaron al GPS para posteriormente ser georreferenciados y señalados con banderines en campo.

Caracterización

Se realizó seguimiento a las propiedades físicas del suelo (Densidad Aparente - D_a , Densidad Real - D_r , Porosidad - P_r , y Textura) antes y después del mecanizado teniendo en cuenta las recomendaciones de Mendoza (2017). Se tomaron 18 muestras por seguimiento entre los 15 y 20 cm de profundidad, recolectando entre 0.5 y 1.0 kg de suelo.

La D_r se midió por medio del método del picnómetro, expresando la relación entre la masa seca por unidad de volumen del suelo (sin vacíos), según se indica en la Ecuación 1.

$$D_r = \frac{(MPSS - MPV)D_w}{(MPW - MPV) - (MPSW - MPSS)} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde: D_r [gr cm⁻³]; $MPSS$: Masa del picnómetro con suelo seco [gr]; MPV : Masa del picnómetro vacío [gr]; MPW : Masa del picnómetro con agua [gr]; $MPSW$: Masa del picnómetro con suelo y agua [gr]; D_w : Densidad del agua [gr cm⁻³].

La D_a se midió por medio del método de cilindro conocido, expresando la relación entre la masa del suelo seca por uni-

dad de volumen total (sólidos y vacíos), según se indica en la Ecuación 2.

$$Da = \frac{MSS}{Vt} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde: Da [gr cm⁻³]; MSS Masa del suelo seco [gr]; y Vt: volumen total del cilindro [cm³].

La porosidad () del suelo está dada por la relación entre la densidad real y la densidad aparente, según la Ecuación 3 (Gutiérrez, 2018).

$$Pr = 1 - \frac{Da}{Dr} \text{ (Ecuación 3)}$$

La determinación de la textura se realizó siguiendo lo estipulado por la NTC 6299 (ICONTEC, 2018), por medio del método de Bouyoucos, expresando los porcenta-

jes de agregados del suelo (arena, limo y arcilla), que se expresan según Ecuación 4, Ecuación 5 y Ecuación 6.

$$\%Arena = 100 - \frac{(Lectura\ corregida\ a\ los\ 40s) * (pW + 100)}{Peso\ de\ la\ muestra} \text{ (Ecuación 4)}$$

$$\%Arcilla = \frac{(Lectura\ corregida\ a\ las\ 2h) * (pW + 100)}{Peso\ de\ la\ muestra} \text{ (Ecuación 5)}$$

$$\%Limo = 100 - \%Arena - \%Arcilla \text{ (Ecuación 6)}$$

Dónde: pW es el porcentaje de humedad de la muestra [%].

El contenido de humedad del suelo se midió siguiendo lo estipulado por la NTC 1776 (ICONTEC, 1994), por medio del se-

cado, expresando la diferencia de masas antes y después del secado, según se indica la Ecuación 7.

$$pW = \frac{MSW - MSS}{MSS} * 100\% \text{ (Ecuación 7)}$$

Dónde: MSW: Masa del suelo húmedo [gr].

La toma de datos para el seguimiento del cultivo constó de: conteo poblacional en las diferentes etapas del cultivo (germinación 12 ddg, macollamiento 52 ddg, embuchamiento 73 ddg, floración 89 ddg y madurez 108 ddg), y conteo de panículas y rendimiento de la cosecha evaluados al final.

Dónde: ddg son los días después de la germinación.

Cultivo

La preparación del terreno se realizó según la descripción del diseño experimental. El tractor empleado para la preparación del terreno fue un New Holland 8030 de 124 Hp, con profundidades de trabajo de hasta 35 cm para el cincel vibratorio y de no más de 20 cm para el arado de discos (Montana, 2018). Luego se realizaron caballones con Taipa según las curvas de nivel para la instalación del riego por inundación. El segundo muestreo de suelos y la siembra del cultivo se realizaron luego de la adecuación del terreno (28 de diciembre de 2021). Dicha siembra se efectuó con sembradora mecánica de grano fino Semeato SSM-23, a una densidad de 150 kg ha⁻¹. El plan de fertilización y el cronograma de actividades fue igual para toda el área experimental, siendo diferente entre sí, solo la preparación del terreno. La cosecha se llevó a cabo el 22 de abril de 2022 con cosechadora Massey Ferguson 5650.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante ANOVA por medio de la prueba de Tukey, luego de verificar si los supuestos de distribución normal de los datos (prueba de Shapiro-Wilk) y de homocedasticidad (prueba de Levene) se cumplan (Gutiérrez y de la Vara, 2008); para luego, identificar y cuantificar el efecto del tratamiento experimental. De igual manera, haciendo uso del paquete estadístico de Microsoft Office Excel®, se logró determinar la existencia de diferencias significativas en cada subparcela y luego por parcelas (entre tratamientos), realizando un análisis espacial y luego temporal. Por último, para el mapeo de propiedades se usó la función IDW Interpolation del programa de Información Geográfica QGIS® con los datos característicos después del análisis estadístico.

Análisis tecno económico

El análisis tecno económico consideró los costos de insumos, la cantidad de jornales, el costo de operación de la maquinaria utilizada, la recolección de la cosecha y las diferentes operaciones (directas e indirectas) que se emplearon al realizar la práctica del cultivo de arroz. Igualmente, los ingresos obtenidos con la venta de la producción al molino.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de las propiedades físicas

Luego de verificar los datos por medio de las pruebas de Levene y Shapiro-Wilk y determinar el análisis estadístico por medio de la prueba de Tukey (Anexos 1a y 1b), se discutieron los resultados de la siguiente manera:

Al estudiar espaciotemporalmente la Dr del terreno, se tuvo en cuenta que, según la FAO, el valor medio de densidad real que posee un suelo es de $2,65 \text{ gr cm}^{-3}$ (FAO, 2023). En el primer muestreo se eviden-

ció que el suelo poseía una alta densidad real, homogénea, sin diferencias significativas entre tratamientos [$P > 0.05$] (Tabla 1 y Figura 2). Para el segundo muestreo los valores tampoco presentaron diferencias significativas en el espacio [$P > 0.05$], lo cual era de esperarse que permaneciera constante independientemente del tratamiento, sabiendo que esta propiedad es función de la composición mineralógica del suelo. De ese modo, se indica que no hay cambio en la composición del suelo al no haber diferencia espacial entre tratamientos ni temporal como efecto de la labranza.

■ **Tabla 1.** Densidad real en espacio y tiempo

Muestras y tratamientos		Puntos de muestreo			Promedio [gr.cm^{-3}]	Desviación estándar	Coeficiente variación (%)	Valor-p
		2	3					
M1	T1	2,736	2,791	2,690	2,739 ns	0,051	0,170	0,407
M2	T1	2,670	2,719	2,737	2,709 ns	0,013	0,118	0,959
M1	T2	2,639	2,890	2,819	2,783 ns	0,127	1,404	0,407
M2	T2	2,726	2,689	2,709	2,708 ns	0,019	0,023	0,959

(*) indica diferencias estadísticas entre muestreos.
 (**) indica diferencia estadística entre tratamientos.
 ns indica que no existieron diferencias estadísticas

Fuente: autores.

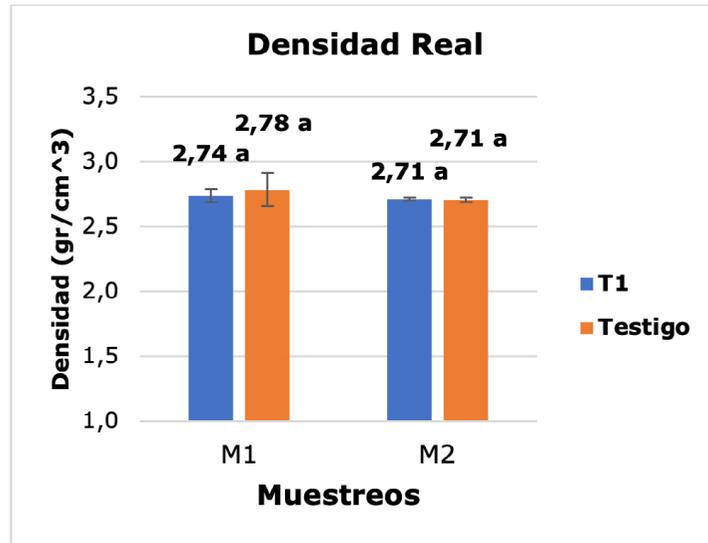


Figura 2. Histograma de Densidad Real en espacio y tiempo. Las barras verticales indican el error estándar. Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa

Fuente: autores.

En la Figura 3 se observa el mapa de distribución espacial de Dr; cambios en el espacio podrían obedecer a cambios de composición de un sitio a otro y cambios

en el tiempo pueden asociarse a problemas de muestreo, manejo de muestras en transporte o en laboratorio.

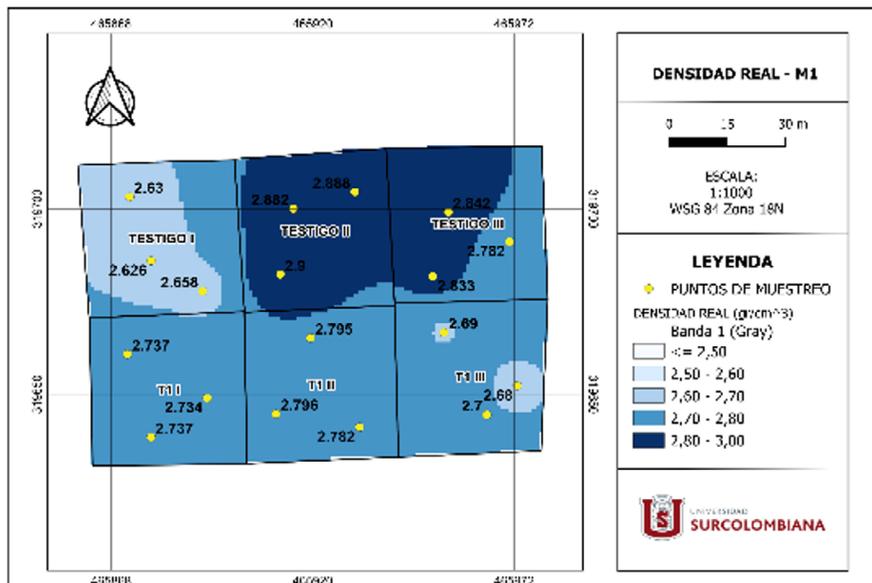


Figura 3. Mapa QGIS Dr espacial

Fuente: autores.

Al estudiar la Da, esta está ligada a la textura y estructura del suelo, predominando en toda el área experimental el suelo franco arenoso (Anexo 2) y dando a entender si el suelo está asentado o no (FAO, 2023); en cuanto al análisis espacial del primer muestreo, los resultados demostraron que no existen diferencias significativas entre tratamientos [$P > 0.05$] y que, además, el suelo poseía una Da alta ($> 1,8 \text{ gr cm}^{-3}$) relativamente homogénea, encontrándose todas las medias por encima del valor límite recomendado para el cultivo ($1,6 \text{ gr cm}^{-3}$) como se muestran en la Figura 4 y la

Tabla 2; dicha recomendación expresa que para valores por encima del límite se dificulta el desarrollo radicular y se inhibe el crecimiento de las plantas.

Para el segundo muestreo, tras la labranza con los diferentes esquemas, se encontró diferencia estadística entre tratamientos [$P < 0.05$], para lo cual, la Da disminuyó 13,5% para T2 y 5,0% para T1. Dicha disminución se debe al cambio en la estructura del suelo y es posible hasta la profundidad en que se mecanizó (UNLP, 2019).

■ **Tabla 2.** Densidad aparente en espacio y tiempo

Muestras y tratamientos		Puntos de muestreo			Promedio [gr.cm^{-3}]	Desviación estándar	Coeficiente variación (%)	F ₀ Calculado	Valor-p
		1	2	3					
M1	T1	1,867	1,870	1,849	1,862*	0,011	0,027	1,29-T	0,310
M2	T1	1,718	1,707	1,785	1,737***	0,043	0,121	11,52-T	0,027
M1	T2	1,917	1,877	1,897	1,897*	0,020	0,005	11,49-M	0,004
M2	T2	1,614	1,648	1,660	1,641***	0,024	0,038	40,60-M	9,2E-06

Para un $F_{0,05,2,18}$ crítico = 4,49

F₀ calculado se presentó entre tratamientos (T) y entre muestreos (M).

(*) indica diferencia estadística entre muestreos.

(**) indica diferencia estadística entre tratamientos.

ns indica que no existieron diferencias estadísticas

Fuente: autores.

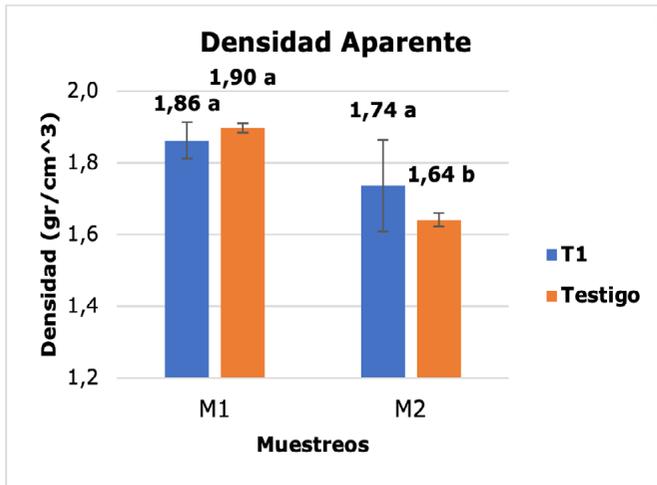


Figura 4. Histograma de densidad aparente en espacio y tiempo. Las barras verticales indican el error estándar. Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa

Fuente: autores.

En esta oportunidad, se demostró la diferencia significativa del 5,8% entre muestreos [P<0.05], así que un suelo que estaba homogéneo terminó diferenciándose. Además, se observa en los mapas de la Fi-

gura 5, los cambios medidos en el segundo muestreo, pero nótese que, aun así, el valor de Da no disminuyó lo recomendado para el cultivo.

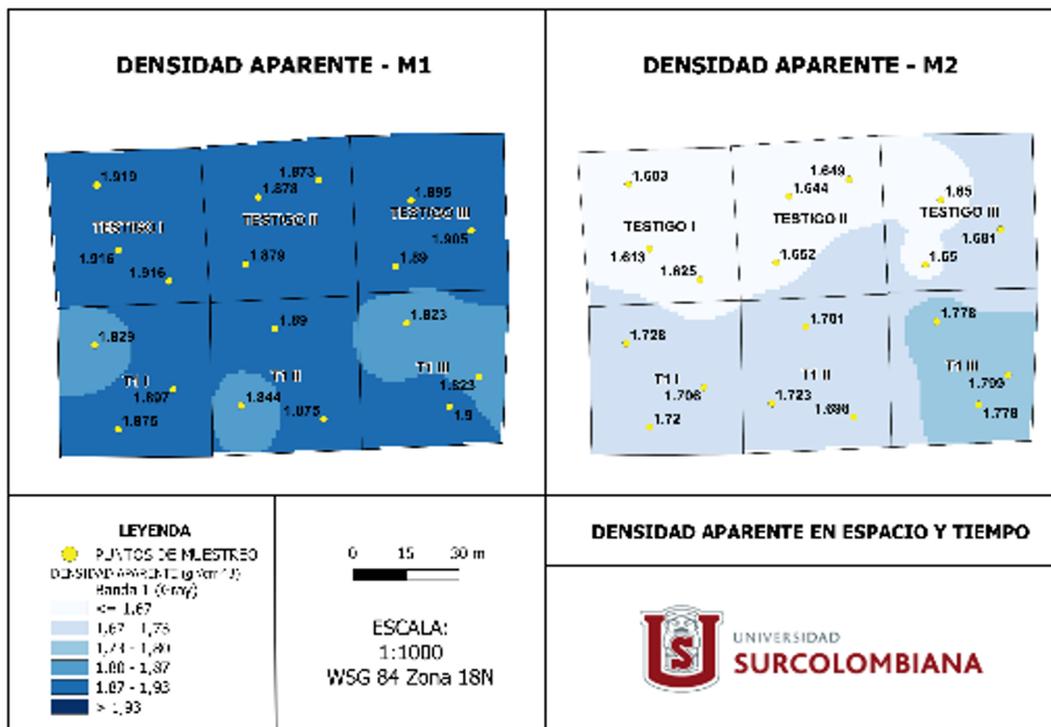


Figura 5. Mapas QGIS Da en espacio y comparación entre muestreos en el tiempo

Fuente: autores.

Sobre la Pr, entre mayor sea su porcentaje, mejor será para la planta, ya que ésta permite un mejor y mayor enraizamiento y aprovechamiento del agua (González-Barrios *et al.*, 2011). Así, para el primer muestreo se obtuvieron resultados bajos, entre el 30 y 32%, propios de un suelo moderadamente poroso (Gutiérrez, 2018), sin diferencias significativas demostrables [$P > 0.05$] (Tabla 3 y Figura 6). Para el segundo muestreo, se presentó un

aumento en la porosidad del 29,34% para T2, y 13,6% para T1, con diferencias significativas entre tratamientos [$P < 0.05$], presentando incrementos similares a los reportados en estudios previos en el Cesar, conduciendo a convertir el suelo asentado en uno más poroso; aun así, esto podría llevar a problemas de infiltración y retención de humedad en el suelo (García y Durán, 1998; Shaxson y Barber, 2005).

■ **Tabla 3.** Porosidad en espacio y tiempo

Muestreo	Tratamiento	Dr [gr.cm ⁻³]	Da [gr.cm ⁻³]	Porosidad (%)
M1	T1	2,739	1,862	32,019*
M2	T1	2,729	1,736	36,375***
M1	T2	2,728	1,897	30,474*
M2	T2	2,708	1,641	39,414***

(*) indica diferencia estadística entre muestreos.
 (**) indica diferencia estadística entre tratamientos.
 ns indica que no existieron diferencias estadísticas.

Fuente: autores.

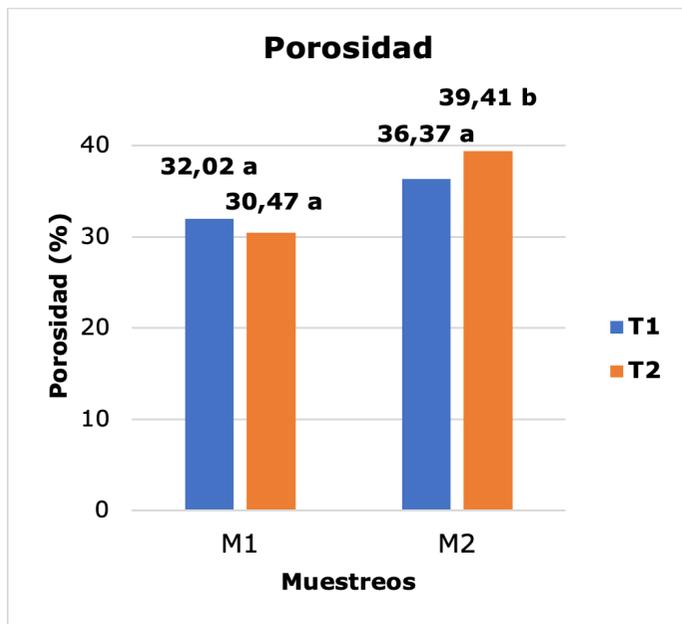


Figura 6. Histograma de Pr en espacio y tiempo
 Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa

Fuente: autores.

Evaluación de rendimiento del cultivo

La Figura 7 evidencia que el cultivo presentó una germinación homogénea

(favorable para el estudio) y que a su vez es baja para todo el lote experimental en relación con las semillas esparcidas (500 semillas m⁻²) (Rivas, 2020).

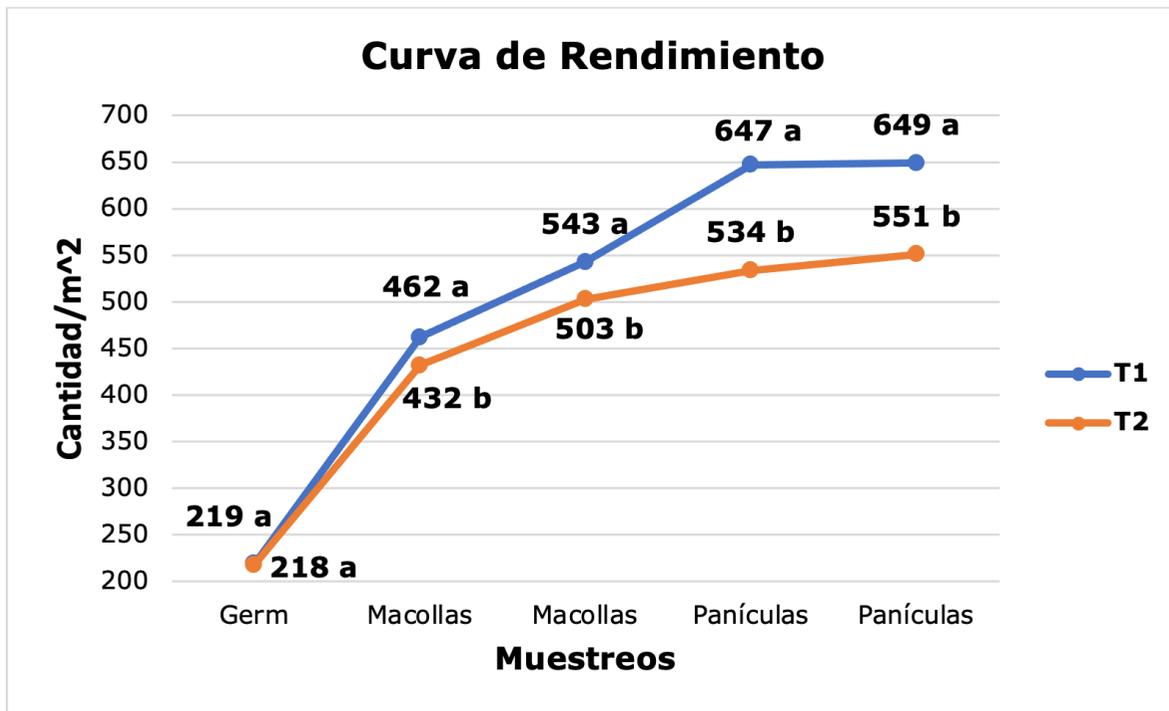


Figura 7. Curva de rendimiento en las diferentes etapas del cultivo. Letras iguales: no existe diferencia significativa, letras diferentes: existe diferencia significativa

Fuente: autores.

Para el caso de la cantidad de macollas y de panículas, el número de estas varía respecto a la densidad de siembra, a la variedad y a factores ambientales (Degiovanni B. *et al.*, 2010; Rivas, 2020). De ese modo se puede apreciar el aumento a través del tiempo, siendo el T1 el que presentó siempre el mayor número de macollas y de panículas, con un 7,9% y 17,8%

de más respectivamente, en relación con el Testigo. Al final de la fase de macollamiento los tratamientos presentaron entre 528 y 646 por m², que estaría dentro de los reportes realizados por Villalba *et al.* (2017), de entre 572 y 602 macollas m⁻². Así mismo, el rendimiento se estableció en la fase final, para lo cual el ANOVA determinó un rendimiento de 130 bultos ha⁻¹

en el Testigo y 136 bultos ha^{-1} en T1 sin diferencia significativa a partir de los controles hechos en los aforadores (Anexo 3). Este pronóstico no tenía en cuenta el vaneamiento, las pérdidas por cosechadora, ni las pérdidas naturales.

Se resalta que, para el análisis del comportamiento del rendimiento, se realizó el seguimiento espacial del último conteo de macollas, panículas y el rendimiento del cultivo (anexos 4, 5 y 6), estos mapas permiten comparar los datos de los últimos conteos con el pesaje de granos en cada aforador y su distribución espacial, a fin de observar si existe correlación entre ellos y poder confirmar las hipótesis generadas a lo largo del proyecto. Ya que, si se relaciona la producción con las propiedades físicas del suelo, especialmente con la porosidad, se hubiera esperado una producción baja, pues esta, al momento de la siembra, tenía un valor relativamente bajo que, según autores, dificultaría el crecimiento de raíces. Las posibles causas a este comportamiento pudieron ser: 1. La forma de riego, pues la presencia, cantidad y calidad del agua de riego afecta el crecimiento de la planta (Lauric *et al.*, 2017), y al ser por inundación y poseer diferentes pérdidas y tiempos de entrada en las parcelas, el comportamiento no mostró una homogeneidad total del riego en el cultivo. Y 2. La forma del abono agregado (Chartuni y Magdalena, 2014), ya que el riego pudo haberlo concentrado en algunas partes y otras no, afectando esto el embuchamiento del grano (Gnecco *et al.*, 2000).

Evaluación de la incidencia del mecanizado en las propiedades y en el rendimiento

En las figuras 4 y 6 se evidenció el comportamiento del cambio que tuvieron las propiedades físicas a través del tiempo, mostrando una disminución en la D_a y un aumento en la porosidad por efecto del mecanizado con diferencias significativas [$P < 0.05$], así mismo, la D_a tiene un comportamiento tal que a mayor mecanizado es menor la densidad. El fenómeno con la P_r es similar puesto que esta propiedad depende de las dos densidades, el hecho de que la D_a variará en el lote experimental llevó a que la porosidad se comportara igual, esto permitió establecer la relación entre las propiedades del suelo y el grado de mecanización.

No obstante, este proyecto pretendía establecer la relación existente entre diferentes estrategias de preparación mediante labranza cada vez menos agresiva y el rendimiento del cultivo, lo cual no se logró porque el estudio no mostró una diferencia estadísticamente significativa en la producción del cultivo de arroz en las parcelas experimentales propuestas.

Análisis tecno económico

Dentro de los gastos de implementación del cultivo se observó que T1 resultó 5,37% menor a T2, pero la diferencia del costo de preparación es bastante sensible, siendo 148,9% más económica para T1. Por otro lado, la producción (el ingreso)

presentó gran similitud entre los tratamientos, una diferencia de 4,41% no fue considerada significativa [$P > 0.05$], pero incidió favorablemente en la ganancia, como se observa en las tablas 4 y 5. El manejo agronómico incluye todos los insumos: semillas, fertilizantes, fungicidas y labores culturales. Al finalizar la cosecha,

la ganancia, definida como la diferencia entre producción y gasto, fue mayor para T1 un 60,48% respecto a T2, con diferencias significativas [$P < 0.05$]. Este aumento se debe a que la labranza convencional requiere de mayores costos de operación en comparación a la labranza reducida (con cincel) (Vargas, 2019).

■ **Tabla 4.** Costos de producción (gastos) entre tratamientos

ITEM	T1		T2	
	%	COSTO (USD)	%	COSTO (USD)
Preparación y adecuación del suelo	4,09	47,44 *	9,66	118,07 *
Siembra del cultivo	10,99	127,45 ns	10,43	127,45 ns
Manejo Agronómico del cultivo	68,61	795,82 ns	65,11	795,82 ns
Recolección y transporte cosecha	16,32	189,25 ns	14,80	180,90 ns
TOTAL	100	1159,96	100	1222,24

(*) indica diferencia estadística.

ns indica que no existieron diferencias estadísticas.

Fuente: autores.

■ **Tabla 5.** Comparación de costos entre tratamientos

ÍTEM	T1 (USD)	T2 (USD)
PRODUCCIÓN	1500,90 ns	1434,69 ns
GASTO	1159,96*	1222,24*
GANANCIA	340,94*	212,45*

(*) indica diferencia estadística.

ns indica que no existieron diferencias estadísticas.

Fuente: autores.

4 CONCLUSIONES

Se comprobó que la Dr es una característica constante en los suelos de la granja experimental por depender de su composición; además, el uso de cincel causó una disminución del 5,8% en la Da diferenciándose estadísticamente a nivel espacial y temporal.

También se evidencia que el mecanizado aumenta significativamente la Pr en los tratamientos, especialmente con el sistema convencional (Testigo>T1), comportamiento que se ve inverso en la relación costo beneficio, para el cual el uso del cincel requiere de menores costos de operación respecto al sistema convencional (Testigo<T1).

En la evaluación del seguimiento del cultivo el uso del cincel generó **un incremento en todas las etapas del cultivo, observándose** aumentos del 7,9% en la cantidad de macollas y del 17,8% en el número de panículas, lo que termina diferenciando estadísticamente los tratamientos.

Modificar la labranza primaria con el uso del cincel nos permite conservar los suelos sin afectar su productividad, mientras se mejora en el tiempo la profundidad efectiva, la retención de humedad y se reducen los costos de preparación (148,9%).

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Jordan Alexis Castillo Coronado: muestreo en campo, pruebas en laboratorio, análisis de datos, mapeo (QGIS®) y escritura. **Diana Carolina Polanía Montiel:**

metodología, análisis de datos (QGIS®), conceptualización y revisión. **Juan Gonzalo Ardila Marín:** metodología, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Surcolombiana por permitir la realización de esta investigación en las instalaciones de su granja experimental, así como a las

personas que allí laboran y contribuyen al mejoramiento de las condiciones del suelo para el cultivo de arroz.

LITERATURA CITADA

- Adesoyin, A. E., MacCarthy, D. S., and Adiku, G. S. K. (2023). Interactive effects of soil compaction, biochar application, and soil water regime on the growth, yield, and water use efficiency of upland rice. *Scientific African*, 21, e01784. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01784>
- Ávila, I. C. (2015). *Adopción Masiva de Tecnología*. Fedearroz.
- Blanco, H., and Lal, R. (2023). Restoration and Management of Degraded Soils. *BT-Soil Conservation and Management*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30341-8_14
- Chartuni, E. y Magdalena, C. (2014). Manual de agricultura de precisión. In *Procisur*. http://www.procisur.org.uy/adjuntos/fb97915de88a_ura_de_precision.pdf
- Chinchilla, H. M. (2003). *Estudio técnico y de costos para la selección de maquinaria y método de preparación adecuado para la mecanización del suelo en el cultivo del arroz en la zona Pauto-Tocaria, Nunchia-Casanare*. [Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/administracion_agronegocios/623
- Degiovanni B., V., Martínez R., C. P., y Motta O., F. (2010). *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina*. Centro internacional de Agricultura Tropical & Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego.
- Fernández, E. F. (2023). *Implementación de un modelo productivo de arroz (Oryza sativa) tipo seco para fortalecer la producción en el corregimiento Caño Chiquito en el municipio de Paz de Ariporo Casanare* [Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/317/
- García P., J. y Durán B., R. (1998). Evaluación de varios sistemas de labranza en un suelo algodonero del Valle del

- Cesar. *Encuentro Nacional de Labranza de Conservación* (pp. 241–257). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/11437>
- Gnecco, M., Valera, L., Bonilla B., R., Murillo S., J. y Aarón, M. (2000). Técnicas de labranza e incorporación de abonos verdes para el mejoramiento y conservación de suelos algonodoneros. *Aportes Tecnológicos a la Producción Competitiva y Sostenible del Algodonero en la Región Caribe* (pp. 46–58). Agrosavia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21286>
- Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K. y Solórzano-Quintana, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 170. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506>
- González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A. y Valenzuela-Núñez, L. M. (2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 369–377. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000400369&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Gutiérrez, J. M. (2018). *Diagnóstico de la compactación de suelos arroceros del municipio de Campoalegre-Huila*. [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69299>
- Gutiérrez, H. y de la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill Interamericana (2a ed.).
- ICONTEC. (1994). *Norma Técnica NTC 1776. Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados*.
- ICONTEC. (2018). *Norma Técnica NTC 6299. Calidad del suelo. Determinación de la textura por Bouyoucos*. <https://tienda.icontec.org/gp-calidad-del-suelo-de-terminacion-de-la-textura-por-bouyoucos-ntc6299-2018.html>
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M. y Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47–56. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85726736002>
- Kumar, P., Mishra, A. K., Chaudhari, S. K., Singh, R., Yadav, K., Rai, P., & Sharma, D. K. (2022). Conservation agriculture influences crop yield, soil carbon content and nutrient availability in the rice–wheat system of north-west India. *Soil Research*, 60(6), 624–635. <https://doi.org/10.1071/SR21121>
- Lauric, A., De Leo, G., Cerdá, C., Carbonell, C. T., Marini, F., Krüger, H. y Galantini, J. A. (2017). Efectos de la utilización del cincel en una pastura implantada de agropiro alargado (*Thinopyrum Ponticum*). https://www.researchgate.net/publication/341579005_EFECTOS_DE_LA_UTILIZACION_DEL

CINCEL EN UNA PASTURA IMPLANTADA DE AGROPIRO ALARGADO *THINOPYRUM PONTICUM* BAHIA BLANCA BUENOS AIRES ARGENTINA

- Liu, Z. Z., Li, W., and Yang, M. (2015). Two General Extension Algorithms of Latin Hypercube Sampling. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2015/450492>
- Marey, S. A., Metwally, W. F., El Iraqui, M. E., Aboegela, M. A., and Mohamed, H. I. A. (2023). The Effect of Soil Compaction Using Rice Combine Harvesters on its Physical Properties and Bio- Activities. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 14(9), 287–295. <https://doi.org/10.21608/js-sae.2023.227767.1173>
- Mendoza, R. y Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para muestreo de suelos*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Montana. (2018). *Catálogo General*. https://www.maquinariamontana.com/images/catalogos/CG_Montana_2018_2.pdf
- Nawaz, A., Farooq, M., Lal, R., Rehman, A., and Hafeez-ur-Rehman. (2017). Comparison of conventional and conservation rice-wheat systems in Punjab, Pakistan. *Soil and Tillage Research*, 169, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.012>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2023). *Portal de Suelos de la FAO. Propiedades Físicas Del Suelo*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Puerres, J. F., Ibarguen, E. y Cerón, M. (2021). Aplicaciones del método de hipercubo latino para la estimación de parámetros de modelos matemáticas desde una perspectiva pedagógica. *Boletín Redipe*, 10(5), 208–219. <https://doi.org/10.36260/rbr.v10i5.1298>
- Rivas, M. (2020). *Evaluación de la germinación y producción de las variedades de arroz (*O. sativa*) f-68 y f-2000 en el municipio de Turbo Antioquia*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Saini, A., Manuja, S., Kumar, S., Hafeez, A., Ali, B., and Poczai, P. (2022). Impact of Cultivation Practices and Varieties on Productivity, Profitability, and Nutrient Uptake of Rice (*Oryza sativa* L.) and Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cropping System in India. *Agriculture (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/agriculture12101678>
- Sharma, P. K., and Kumar, S. (2023). *Soil Structure and Plant Growth BT-Soil Physical Environment and Plant Growth: Evaluation and Management* (pp. 125–154). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28057-3_5
- Shaxson, F. y Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la

producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo. *Boletín de Suelos de la FAO* 79, 0–128. <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s00.htm>

Universidad Nacional de La Plata. (2019). Porosidad y aireación densidad real y aparente. *Apunte de edafología curso*, 1(1),9. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod_resource/content/1/POROSIDAD_Y_AIREACION_26-3-19.pdf

Vargas, J. (2019). *Índice de Beneficio-Costo de Sistemas de Labranza* [Universidad Autó-

noma Agraria Antonio Narro]. [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47914/K66322_Vargas_Arellano%2C José de Jesús.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/47914/K66322_Vargas_Arellano%2C_Jos%C3%A9_de_Jes%C3%BA_s.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Villalba, J. V, Jarma, A. J., and Combatt, E. M. (2017). Physiological response of on rice cultivars in different sowing times in Cordoba, Colombia. *Temas Agrarios*, 22(2), 9–19. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.940>

Conflicto de intereses
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.