



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 18 de enero de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad: Neiva – Huila

El (Los) suscrito(s):

Jordan Alexis Castillo Coronado _____, con C.C. No. _1079412313_____,

Juan Carlos Zuleta Saavedra _____, con C.C. No. _1082130075_____,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado: Jordan Alexis Castillo Coronado y Juan Carlos Zuleta Saavedra titulado EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ Y DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO PREPARADO CON CINCEL EN LA GRANJA - USCO presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de Ingenieros Agrícolas;

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

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

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

Vigilada Mineducación

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



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Juan Carlos Zuleta S.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: [Firma manuscrita]

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

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

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA									
	GESTIÓN DE BIBLIOTECAS									
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO										
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 5			

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARROZ Y DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO PREPARADO CON CINCEL EN LA GRANJA – USCO.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
JORDAN ALEXIS	CASTILLO CORONADO
JUAN CARLOS	ZULETA SAAVEDRA

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
DIANA CAROLINA	POLANÍA MONTIEL
JUAN GONZALO	ARDILA MARÍN

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIEROS AGRÍCOLAS

FACULTAD: DE INENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERÍA AGRÍCOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022

NÚMERO DE PÁGINAS: 33

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Vigilada Mineducación

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



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 5
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Diagramas_X_ Fotografías_X_ Grabaciones en discos__ Ilustraciones en general_X_ Grabados____
Láminas__ Litografías__ Mapas_X_ Música impresa__ Planos_X_ Retratos__ Sin ilustraciones____
Tablas o Cuadros_X_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Ninguno

MATERIAL ANEXO: Ninguno

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

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Labranza reducida	Reduced tillage	6. _____	_____
2. Compactación	Compaction	7. _____	_____
3. Preparación de suelos	Soil preparation	8. _____	_____
4. Densidad de suelos	Soil density	9. _____	_____
5. Labranza convencional	Convectional tillage	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El siguiente trabajo evaluó las propiedades físicas del suelo para efectos en el rendimiento del cultivo de arroz, para el cual, la preparación del suelo se realizó con cincel vibratorio en enero de 2022, en la Granja Experimental – USCO de Palermo. Se presentaron cuatro tratamientos en parcelas experimentales, T1: Una pasada de cincel; T2: Dos pasadas perpendiculares; T3: Tres pasadas cruzadas; y T4. Arado convencional – Testigo (rastra), en las cuales se evaluaron las propiedades físicas del suelo y el seguimiento fenológico al cultivo dividiendo las parcelas en subparcelas. El análisis estadístico se realizó mediante Análisis de Varianza y gráficamente mediante histogramas y box plot. Mientras que el análisis tecno económico se realizó en base a la producción y al costo de operación entre los dos tipos de labranza. Los resultados mostraron que en el muestreo posterior a la labranza disminuyó la densidad aparente por zonas; estos efectos conllevaron a que la porosidad aumentará de forma zonificada entre 39,42 y 39,57% en la zona de mayor labranza, y entre 34,68 y 37,62% en la zona de menor labranza. Por otro lado, la baja porosidad en todo el lote experimental auguraba baja producción por inhibición del crecimiento de raíces, y, efectivamente, se



registró una producción uniforme sin mayor diferencia entre tratamientos. De ese modo, se concluye que el uso de labranza reducida con cincel presentó un efecto similar en la producción al de la labranza convencional, siendo más económica la labranza reducida y menos agresiva para el suelo en efectos de compactación.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The following work evaluated the physical properties of the soil for effects on the yield of the rice crop (*Oryza sativa* L.), for which soil preparation was carried out with a vibrating chisel in January 2022, at the Experimental Farm - USCO of Palermo. Four treatments were presented in experimental plots, T1: One chisel last; T2: Two perpendicular passes; T3: Three cross passes; and T4: Conventional plow – Witness, in which the physical properties of the soil and the phenological monitoring of the crop were evaluated, averaging the values of the subplots. Statistical analysis was performed using Analysis of Variance and graphically using histograms and box plot. While the



techno-economic analysis was carried out based on the production and the cost of operation between the two types of tillage. The results showed that in the second sampling the tillage decreased the bulk density by zones, being the control and T3 the ones that caused the greatest decrease in density. On the other hand, the low porosity in the entire experimental plot predicted low production due to inhibition of root growth, and, indeed, a uniform production was registered with no major difference between treatments. Thus, it is concluded that the use of reduced tillage with a chisel had a similar effect on production to that of conventional tillage, with reduced tillage being more economical and less aggressive for the soil in compaction effects.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: John Jairo Arévalo Hernández

Firma:

Nombre Jurado: John Jairo Arévalo Hernández

Firma:

Nombre Jurado: Lina Alexandra Meza Hernández

Firma:

Vigilada Mineducación

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



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
ICN-Net

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	5 de 5
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

Vigilada Mineducación

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

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) Y DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO PREPARADO CON CINCEL EN LA GRANJA – USCO

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

Autor(es)

Jordan Alexis Castillo Coronado: 20191178093

Juan Carlos Zuleta Saavedra: 20181164626

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Sede Neiva, Huila, Colombia, 2022.

Firma

Director: Diana Carolina Polanía Montiel

Firma

Codirector: Juan Gonzalo Ardila Marín

Nota de aceptación

Firma

Jurado: John Jairo Arévalo Hernández

Jurado: Lina Alexandra Meza Mendoza

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) Y DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO PREPARADO CON CINCEL EN LA GRANJA – USCO

RESUMEN

El siguiente trabajo evaluó las propiedades físicas del suelo para efectos en el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), para el cual, la preparación del suelo se realizó con cincel vibratorio en enero de 2022, en la Granja Experimental – USCO de Palermo (Huila, Colombia). Se presentaron cuatro tratamientos en parcelas experimentales, T1: Una pasada de cincel; T2: Dos pasadas perpendiculares; T3: Tres pasadas cruzadas; y T4. Arado convencional – Testigo (usando rastra), en las cuales se evaluaron las propiedades físicas del suelo y el seguimiento fenológico al cultivo dividiendo las parcelas en subparcelas. El análisis estadístico se realizó mediante Análisis de Varianza (ANOVA) y gráficamente mediante histogramas y box plot. Mientras que el análisis tecno económico se realizó en base a la producción y al costo de operación entre los dos tipos de labranza. Los resultados mostraron que en el muestreo posterior a la labranza disminuyó la densidad aparente por zonas, siendo el testigo y T3 los que más disminución causaron en la densidad (13,5 y 11,5% respectivamente); estos efectos conllevaron a que la porosidad aumentará de forma zonificada entre 39,42 y 39,57% en la zona de mayor labranza, y entre 34,68 y 37,62% en la zona de menor labranza. Por otro lado, la baja porosidad en todo el lote experimental auguraba baja producción por inhibición del crecimiento de raíces, y, efectivamente, se registró una producción uniforme sin mayor diferencia entre tratamientos. De ese modo, se concluye que el uso de labranza reducida con cincel presentó un efecto similar en la producción al de la labranza convencional, siendo más económica la labranza reducida y menos agresiva para el suelo en efectos de compactación.

Palabras clave: Labranza Reducida, Compactación, Preparación de Suelos, Densidad de Suelos, Labranza Convencional.

ABSTRACT

The following work evaluated the physical properties of the soil for effects on the yield of the rice crop (*Oryza sativa* L.), for which soil preparation was carried out with a vibrating chisel in January 2022, at the Experimental Farm - USCO of Palermo (Huila, Colombia). Four treatments were presented in experimental plots, T1: One chisel last; T2: Two perpendicular passes; T3: Three cross passes; and T4: Conventional plow – Witness (using harrow plow), in which the physical properties of the soil and the phenological monitoring of the crop were evaluated, averaging the values of the subplots. Statistical analysis was performed using Analysis of Variance (ANOVA) and graphically using histograms and box plot. While the techno-economic analysis was carried out based on the production and the cost of operation between the two types of tillage. The results showed that in the second sampling the tillage decreased the bulk density by zones, being the control and T3 the ones that caused the greatest decrease in density (13.5 and 11.5% respectively); These effects led to the porosity increasing in a zoned manner between 39.42 and 39.57% in the area with greater

tillage, and between 34.68 and 37.62% in the area with less tillage. On the other hand, the low porosity in the entire experimental plot predicted low production due to inhibition of root growth, and, indeed, a uniform production was registered with no major difference between treatments. Thus, it is concluded that the use of reduced tillage with a chisel had a similar effect on production to that of conventional tillage, with reduced tillage being more economical and less aggressive for the soil in compaction effects.

Keywords: Reduced Tillage, Compaction, Soil Preparation, Soil Density, Conventional Tillage.

INTRODUCCIÓN

El tránsito continuo y excesivo en un cultivo en todo su proceso vegetativo genera en el suelo un aumento de la densidad aparente y de la resistencia a la penetración. Mientras que la labranza convencional disminuye la macro porosidad y aumenta la densidad de los suelos, induciendo a la compactación e incidiendo sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos (Álvarez et al., 2004; Gómez 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, y su excesiva mecanización, afecta la macro porosidad de los suelos interfiriendo con el buen drenaje y el desarrollo radicular, mientras que el suelo debe presentar una estructura que no colapse ante el paso de la maquinaria o por procesos naturales (Pidgeon, 1983; Jaurixje et al., 2013; Nawaz et al., 2017).

El cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los principales productos de explotación en Colombia y las propiedades físicas del suelo en este cultivo, están estrechamente ligadas a su manejo y su efecto depende del estado en que se encuentre, por ende, se deben analizar la compactación, textura, estructura, porosidad e infiltración antes de la siembra de un cultivo. Realizados estos análisis se procura corregir aspectos importantes como la compactación con arados específicos, esto con el fin de aumentar la capacidad de retención de humedad y de mantener la estructura del suelo. Los factores que afectan la profundidad efectiva son: compactación, piedras o rocas, agua o sales y concentraciones altas de algunos elementos químicos; del mismo modo, para el cultivo del arroz la profundidad efectiva ideal es de 20 cm, ya que es la longitud máxima que alcanzan las raíces (Fedearroz, 2015).

Para corregir las propiedades físicas de los suelos, se hace necesaria la adopción de tecnologías de conservación de recursos para el cultivo de arroz, haciendo uso de labranza reducida o siembra directa (labranza cero), lo cual parece ser una opción ecológica para los agricultores, el medio ambiente y para mantener la productividad en el cultivo. De ese modo, se hace necesario evaluar el impacto de los sistemas de cultivo y de conservación en las propiedades del suelo, el rendimiento del grano y de la productividad del agua/sistemas establecidos en sitios experimentales como lo mencionan (Nawaz et al., 2017).

Estudios previos en otros cultivos y territorios han encontrado que:

En el departamento del Casanare se planteó inicialmente el uso del cincel vibratorio, pero debido a que los suelos de esta zona son arcillosos y presentan una alta resistencia a la penetración, se optó por la implementación del cincel rígido. Esta implementación dio como resultado una mayor conservación de los suelos, mayor retención de humedad, disminución de costos de preparación y mejoramiento del drenaje interno del suelo (Chinchilla, 2003). También en suelos alodoneros del

valle del Cesar se observó que el uso de arado de cincel rígido a profundidad apropiada (25-50cm), fue el único que disminuyó el asentamiento de 1.83 a 1.67 gr/cm³ cuando se usa combinado con implementos de discos; también se registraron aumentos en la profundidad del trabajo, incrementándose la porosidad total en un 21% (de 29.2 a 35.4%) con respecto a la labranza cero y en un 15% con respecto a la labranza convencional (30.9%) (García et al., 1998).

Investigando la producción de cultivos en suelos algodoneros del Tolima, se logran utilizar diferentes sistemas agrícolas que permitan observar cambios en las propiedades físicas del mismo. En comparación con la labranza convencional, en condiciones de labranza profunda, la densidad aparente disminuye, mientras que el porcentaje de porosidad total, el almacenamiento de humedad y el espacio de aire aumentan en estos suelos con limitaciones físicas. De ese modo, se busca un mejoramiento de las características físicas del suelo mediante el uso de implementos de labranza vertical (cincales y subsolado superficial hasta 35 o 40 cm) que permitan el rompimiento del suelo en profundidad. Quien usa cincales, debe considerar que suelos muy adensados se deben empezar a trabajar primero superficialmente y luego sí a mayores profundidades; si esto no se hace, se corre el riesgo de romper el tractor o el implemento (Amézquita, 1998).

La conveniencia de este proyecto radica en conocer el efecto que diferentes esquemas de mecanizado conservacionista (labranza reducida) puedan tener en el suelo de la Granja Experimental, cuyas características coinciden con las de suelos reportados en estudios previos donde el cincel mostró buenos resultados de des compactación. Así planteado se entiende que la implicación práctica del proyecto va orientada a establecer una práctica de adecuación del suelo de labranza mínima que aporte o, por lo menos, no afecte las condiciones óptimas cultivables para el arroz, y represente un beneficio ambiental al disminuir el impacto que la labranza tiene en el suelo al largo plazo, propendiendo por un cultivo de buen rendimiento económico, pero más sustentable. Por otro lado, el valor teórico del proyecto se centra en el conocimiento de la relación labranza – propiedades del suelo, lo cual se desconoce para la región de la Granja Experimental. De ese modo, con el uso del cincel, que es un implemento de labranza primaria para la des compactación subsuperficial del suelo, se pretende determinar el efecto de la mecanización en relación con las propiedades físicas, aunque su propósito real, es obtener como factor de respuesta el rendimiento del cultivo y el estado final del suelo después de la campaña, estableciendo la incidencia del mecanizado en las propiedades físicas y en la producción del cultivo.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Localización

El proyecto estuvo localizado en la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana, situada en la vereda San Miguel en el municipio de Palermo (Huila). La granja se encuentra ubicada a 9 kilómetros de la sede central y cuenta con 30 ha en las que se cultiva arroz, mango, naranja, moringa, entre otros (Figura 1).

El área de trabajo empleada en la granja experimental fue de dos hectáreas, las cuales fueron designadas según los lineamientos de espacio y capacidad de esta, como también teniendo en cuenta diferentes variables de sitio como son la topografía, las zonas de mayor impacto y las recomendaciones del operario de la maquinaria. Esta última variable consiste en evitar la compactación entre tratamientos al momento de realizarse la preparación del terreno, lo que facilita la operación del tractor con el implemento y minimiza los giros de cabecera. Por ello su diseño

experimental fue el diseño factorial simple en parcelas divididas, con cuatro tratamientos, los cuales se dividieron en tres partes iguales (subparcelas) para realizar comparaciones entre sí. Dicha distribución puede apreciarse en la Figura 2 (a).

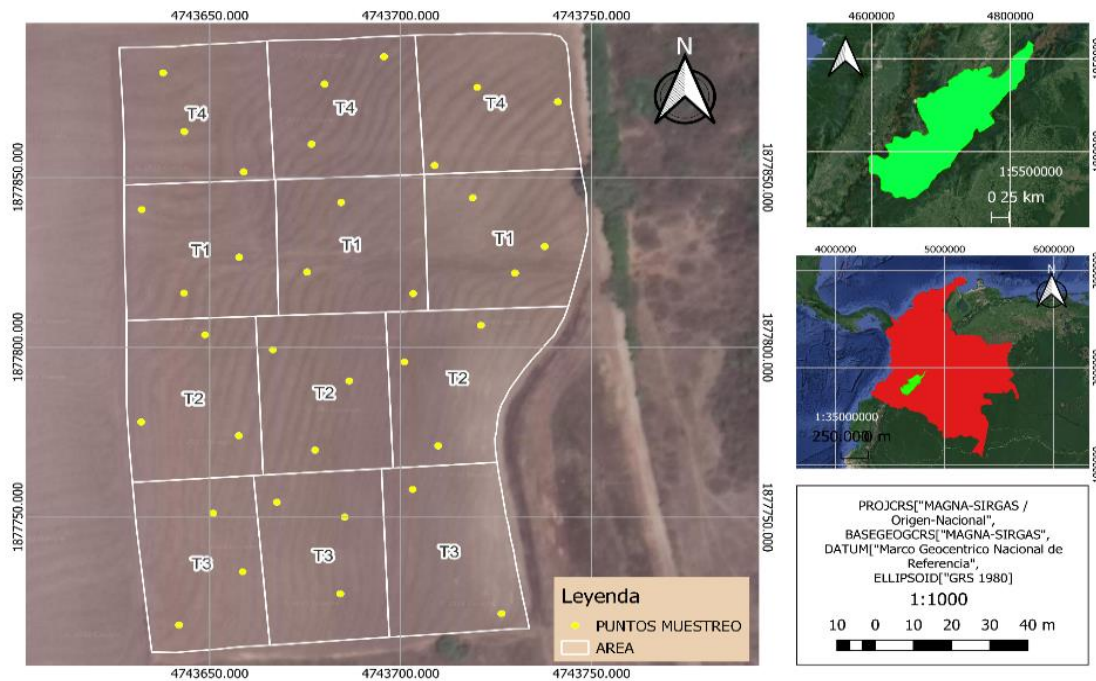


Figura 1. Localización área de trabajo

Por otro lado, los linderos fueron señalizados con banderines y de forma satelital mediante la utilización de un navegador genérico conocido como GPS (Global Positioning System), este sistema permitió georreferenciar cada uno de los tratamientos empleados, tal y como se muestra en la Figura 2 (b) y (c).

Los tratamientos se distribuyeron en T1: Un pase de cincel; T2: Dos pases de cincel perpendiculares; T3: Tres pases de cincel cruzados; y T4: Arado convencional (testigo) con tres pases cruzados de rastra de 20 discos. El estado inicial del terreno, tras 9 meses de abandono, forzó un pase de rastra y el humedecimiento sobre toda la parcela para una des compactación previa al uso del cincel. Inicialmente el suelo presentó bastante resistencia a la penetración, lo que impidió el correcto funcionamiento del cincel rígido causando el riesgo de fractura de este o daño al tractor; por tal motivo, el implemento que se usó fue el cincel vibratorio de 7 cinceles, aclarando que al implemento de la Granja Experimental le faltan dos cuerpos, así que trabaja con 5 en una disposición de 3 adelante y 2 atrás. A su vez, el tractor empleado para la preparación de las parcelas fue el 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 disco (Montana, 2018).

Así mismo, los puntos de muestreo fueron 9 por tratamiento (por parcela), organizados de 3 por subparcela de forma aleatoria mediante el método de hipercubo latino condicionado (cHL), tipo de muestreo usado para obtener muestras en áreas con exhaustiva información sobre variables de sitio. Este método ha sido empleado en diferentes investigaciones científicas, en las cuales, el propósito del muestreo es obtener datos espaciales que permitan la estimación de algún parámetro estadístico,

a través de un procedimiento aleatorio estratificado que proporcione una forma eficiente de muestrear variables sobre un área dada (Liu et al., 2015; Puerres et al., 2021). Del mismo modo, de Carvalho (2014) observó que los puntos seleccionados por el método cHL presentaron una mejor distribución geográfica y de las covariables continuas, comparándolos con otros tipos de muestreo; lo que permite que el método se ajuste al trabajo de investigación realizado y que, al mismo tiempo, se adquiriera conocimiento en el manejo del mismo.

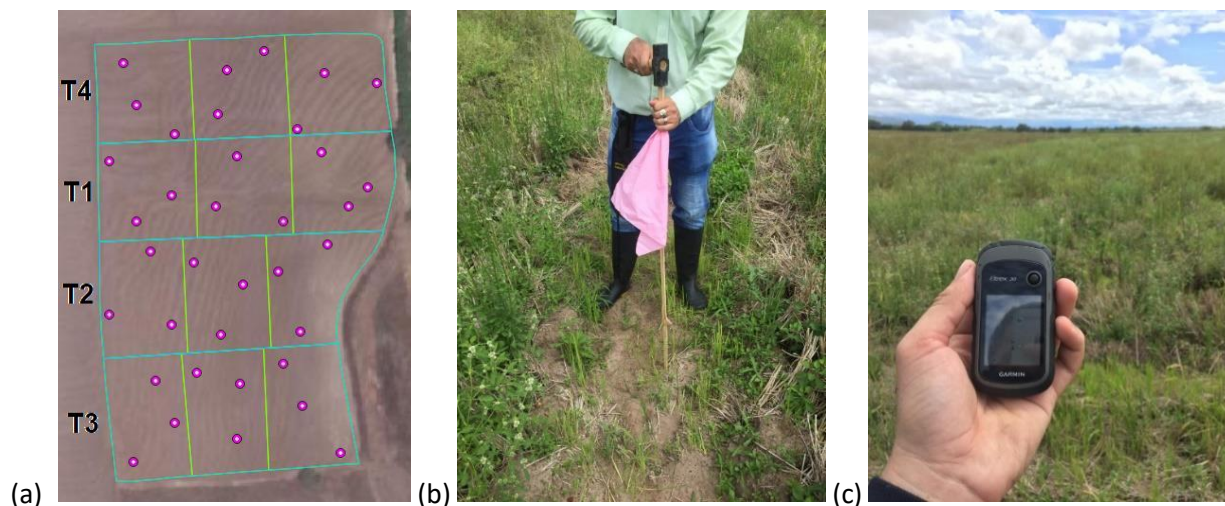


Figura 2. (a) Área de trabajo, ubicación de tratamientos y puntos de muestreo de suelo. (b) Demarcación con banderín de linderos y puntos de muestreo. (c) Ubicación con GPS. Fuente: Los autores.

Para el establecimiento del método se usó el programa de Información Geográfica QGIS® y se programó el algoritmo (cHL) por medio del paquete de RStudio®. QGIS® mostró las variables de sitio por medio de una malla de puntos, mientras que el paquete de RStudio® mostraba los sitios precisos en los cuales las condiciones del suelo eran similares. Una vez ubicados los puntos, se llevaban al GPS para posteriormente ser georreferenciados y señalados con banderines en campo.

1.2 Caracterización

El seguimiento de las propiedades físicas del suelo se realizó antes y después del mecanizado, y después del cultivo. De esa manera se tomaron tres muestras por subparcela en cada seguimiento, teniendo en cuenta las recomendaciones de (Sosa, 2012). Se tomaron un total de 36 muestras en cada uno de los tres seguimientos. Cada muestra fue realizada entre los 15 y 20 cm de profundidad por medio de un palín, tomando entre 0.5 y 1.0 kg de suelo, para luego ser transportadas en bolsas herméticas hasta el laboratorio de suelos de la Universidad Surcolombiana. Allí se realizaron los debidos tratamientos de las muestras como secado, procesamiento y recopilación de resultados, para realizar el análisis y obtención de los resultados de las propiedades físicas y de las mediciones del seguimiento del cultivo.

Por otro lado, la toma de datos para el seguimiento del cultivo se realizó según se presenta en la tabla 1, y constó de conteo poblacional, conteo de macollas, medición de altura, medición de biomasa, conteo de panículas y evaluación de rendimiento de la cosecha. El conteo poblacional y la medición de altura se realizaron en las diferentes etapas del cultivo (germinación 12 ddg, macollamiento 52 ddg, embuchamiento 73 ddg, floración 89 ddg y madurez 108 ddg), la cantidad

de biomasa fue tomada en las etapas de macollamiento y embuchamiento, mientras que el conteo de panículas y el rendimiento de la cosecha fueron realizados en la etapa de madurez.

TABLA 1. Cronograma de visitas de seguimiento al cultivo.

Actividad	Fecha	Observación
Siembra	29/12/2021	
Conteo población inicial. (Etapas de germinación)	12 al 14/01/2022	
Conteo de macollas y Medición de altura. (Etapas de crecimiento)	29/01/2022 al 3/02/2022	50x50: medición de la altura de la parte aérea de tres plantas aleatorias desde la base hasta la hoja más alta.
Máximo macollamiento, Conteo de macollas, Medición de altura Primera biomasa y materia seca (Etapas de crecimiento y desarrollo)	22 al 26/02/2022	25x25: cortar la parte verde, esta se pesará y luego a un horno a no más de 70°C y se pesará.
Máximo embuchamiento, Conteo de macollas, Medición de altura, Segunda biomasa y Materia seca. (Etapas de desarrollo)	15 al 20/03/2022	
Conteo de panículas y Medición de altura (Etapas de floración)	30/03/2022 al 4/04/2022	50x50: medición de la altura de la parte aérea de tres plantas aleatorias desde la base hasta el último grano de la panícula.
Conteo de panículas – medición de altura Corte y desgranado (Etapas de madurez)	19 al 24/04/2022	50x50: se corta. Se miden 10 panículas. Se desgrana la totalidad. Se separan granos llenos de vanos. Se apartan los llenos para sacar 1000 granos y sacar el peso de estos 1000 granos.

La densidad real se midió por medio del método del picnómetro, en donde se expresa la relación entre la masa del suelo seca por unidad de volumen del suelo (sin vacíos), según se indica con la Ec. (1).

$$Dr = \frac{(MPSS - MPV) * Dw}{(MPW - MPV) - (MPSW - MPSS)} \quad (1)$$

Donde: Dr es la densidad real (gr/cm³); MPSS es la masa del picnómetro con suelo seco (gr); MPV es la masa del picnómetro vacío (gr); MPW es la masa del picnómetro con agua (gr); MPSW es la masa del picnómetro con suelo y agua (gr); y Dw es la densidad del agua (gr/cm³).

La densidad aparente se midió por medio del método de cilindro conocido, el cual expresa la relación entre la masa del suelo seca por unidad de volumen total (volumen ocupado por sólidos y vacíos), según se indica en la Ec. (2).

$$Da = \frac{Mss}{Vt} \quad (2)$$

Donde: Da es la densidad aparente (gr/cm³); Mss es la masa del suelo seca (gr); y Vt es el volumen total del cilindro (cm³).

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

$$n = 1 - \frac{Da}{Dr} \quad (3)$$

Donde: n es la porosidad (Adm); D_r es la densidad real (gr/cm^3); y D_a es la densidad aparente (gr/cm^3).

La determinación de la textura se realizó siguiendo lo estipulado por la NTC 6299 (Icontec, 2018), la cual realiza la prueba por medio del método de Bouyoucos, en ella se expresan los porcentajes de agregados del suelo (arena, limo y arcilla), y se expresa según las Ec. (4), (5) y (6).

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

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

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

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), la cual realiza la prueba por medio del secado, en donde se expresa la diferencia de masas antes y después del secado, según se indica la Ec. (7).

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

Dónde: pW es porcentaje de humedad; MSW es la masa del suelo húmedo; y MSS es la masa del suelo seco.

1.3 Cultivo.

La preparación del terreno se realizó basada en los sistemas de labranza reducida, en los cuales simplemente se realiza labranza primaria que, para efectos de este estudio, fue realizada mediante cincel vibratorio. Inicialmente se tuvo que des compactar el suelo mediante humedecimiento (riego) y realizando labranza convencional (un pase de rastra), posteriormente se realizó el debido pase del cincel para cada uno de los tratamientos T1, T2 y T3, y para el testigo (T4) se empleó el sistema de labranza convencional (dos pases de rastra). Los pases del cincel se realizaron de forma perpendicular y cruzada. Para finalizar se procedió con la adecuación del terreno y se realizaron los caballones con curvas de nivel para la instalación del riego por inundación.

La siembra del cultivo y el segundo muestreo de suelos se llevaron a cabo una vez realizada la preparación del terreno. Dicha siembra se realizó con sembradora mecánica de grano fino Semeato SSM-23, a una densidad de 150 kg/ha que equivale aproximadamente a 500 semillas/ m^2 . Por otro lado, el plan de fertilización y el cronograma de actividades se realizó de la misma manera para toda el área experimental (para más detalle pueden consultarse fecha, productos y dosis en Anexo 1), siendo diferente entre sí, solo la preparación del terreno. Por último, la cosecha se realizó el 22/04/2022 con cosechadora Massey Ferguson 5650 con sus respectivas calibraciones y mediciones en campo.

1.4 Análisis estadístico.

Una vez obtenidos los resultados de los estudios físicos en laboratorio, se realizó el análisis estadístico de los datos mediante ANOVA, el cual, por medio del método LSD de diferencia mínima de Fisher (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008) permite identificar y cuantificar

el efecto de este estudio experimental. De igual manera, con un nivel de confianza del 95% (del método LSD) y haciendo uso del paquete estadístico de Microsoft Office Excel, se logró determinar la existencia de diferencias significativas en cada uno de los parámetros analizados en cada subparcela y luego por parcelas (entre tratamientos), en un análisis interno que pretendía identificar datos atípicos, y luego entre tratamientos, realizando un análisis espacial, y luego temporal. Cabe anotar que para el mapeo de propiedades se usó la función IDW Interpolation del programa de Información Geográfica QGIS® con los datos seleccionados después del análisis estadístico en Excel.

1.5 Análisis tecno económico.

Luego de haber realizado los análisis estadísticos y de haber discutido los resultados, se realiza un análisis tecno económico respecto a los materiales, insumos, mano de obra y demás costos que se emplean a la hora de realizar la práctica del cultivo de arroz. Así mismo, se realiza una comparación entre los resultados esperados con los resultados obtenidos a la hora de efectuar la recolección de la cosecha. El análisis está comprendido por la lista de costos de insumos, la cantidad de jornales, el costo de operación de la maquinaria utilizada y las diferentes operaciones (directas e indirectas) empleadas. Este análisis permitió cuantificar el costo de ejecución de cada tratamiento, al mismo tiempo que permitió realizar comparaciones entre sí.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Evaluación de propiedades físicas.

Al estudiar espaciotemporalmente la densidad real del terreno, y sabiendo que, según la FAO, el valor medio de densidad real que posee un suelo es de $2,65 \text{ gr/cm}^3$, se tuvo en cuenta que valores altos indicarían mucha retención del agua produciendo encharcamiento, y valores bajos se asocian con incrementos de infiltración (FAO, 2022).

En el primer muestreo se evidenció que el suelo poseía una alta densidad real, la cual fue homogénea dado que entre los promedios de las subparcelas de cada tratamiento no se encontraron diferencias significativas, según la Tabla 2 y la Figura 3. En la misma tabla (Tabla 2) se reporta el promedio de cada una de las 12 subparcelas (3 por cada tratamiento), para lo cual, se resume un total de 108 datos establecidos en la prueba de picnómetro (9 por cada subparcela), tras evaluar la existencia o no de diferencias significativas en estas, omitiendo datos atípicos y juzgando con diagramas de bigotes para los 3 puntos de muestreo aleatorio (ver Figura 1). Además, en la Figura 4 puede apreciarse, mediante mapas, la distribución espaciotemporal de este parámetro durante el estudio.

TABLA 2. Densidad Real en espacio y tiempo. Fuente: Los autores.

[gr/cm ³]		Puntos de muestreo			Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación (%)
		1	2	3			
Muestreo 1	Testigo	2,726	2,689	2,709	2,708	0,019	0,023
	T1	2,736	2,791	2,690	2,739	0,051	0,170
	T2	2,752	2,680	2,647	2,693	0,054	0,192
	T3	2,74	2,757	2,754	2,756	0,002	0,008
Muestreo 2	Testigo	2,67	2,719	2,737	2,728	0,013	0,118
	T1	2,639	2,89	2,819	2,729	0,127	1,404
	T2	2,729	2,703	2,692	2,708	0,019	0,024
	T3	2,649	2,742	2,804	2,732	0,078	0,406

Muestreo 3	Testigo	2,769	2,803	2,527	2,786	0,024	0,029
	T1	2,733	2,853	2,127	2,793	0,085	0,360
	T2	2,886	2,696	2,667	2,75	0,119	0,943
	T3	2,755	2,74	2,408	2,748	0,011	0,006

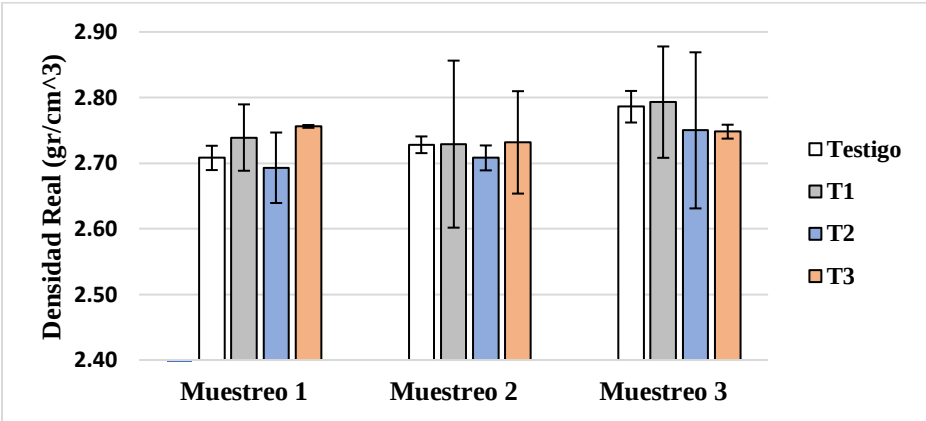


Figura 3. Histograma de Densidad Real en espacio y tiempo. Fuente: Los autores.

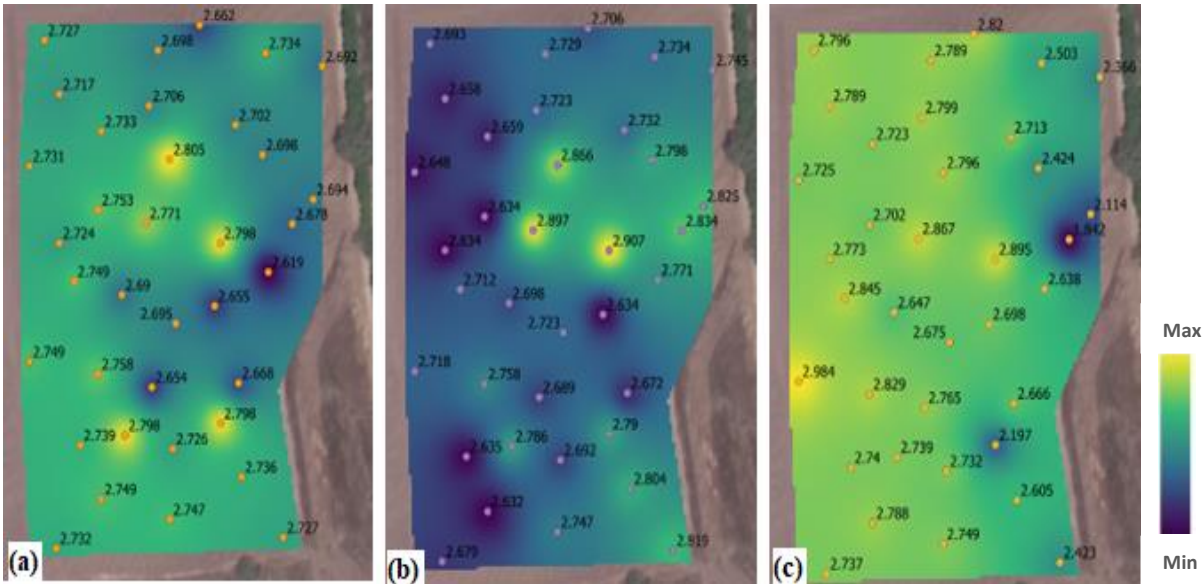


Figura 4. Muestreos antes de labranza (a), después de labranza (b) y después del cultivo (c) de Densidad Real. Fuente: Los autores.

Dado que los valores son altos es de esperar la retención superficial del agua. Sabiendo que esta propiedad es función de la composición mineralógica del suelo, era de esperarse que permaneciera más o menos constante durante el tiempo independientemente del tratamiento y del uso, el valor alto puede deberse a la presencia de elementos pesados como Hierro o Manganeso. De ese modo se concluye que no hay diferencia espacial entre tratamientos, ni diferencia temporal como efecto de la labranza y el cultivo, lo que indica que no hay cambio en la composición del suelo, esto se observa en la Figura 4 dada la concentración de la paleta de colores (para más detalle ver los anexos).

Pequeños cambios en el espacio podrían obedecer a ligeros cambios de composición de un sitio a otro. Pequeños cambios en el tiempo, para el mismo sitio, pueden asociarse a problemas de muestreo, manejo de muestras en transporte o en laboratorio (para más detalle ver los anexos).

En la Tabla 2, el muestreo 3, se señalan en rojo algunos datos atípicos, causados por malos manejos de las muestras o errores en el procedimiento en laboratorio, los cuales fueron excluidos al promediar para establecer el dato característico del tratamiento.

En el caso del estudio de la densidad aparente (D_a) del terreno, esta está ligada a la textura del suelo y a su estructura, predominando, en toda el área experimental el suelo franco arenoso (ver los anexos), dando a entender si el suelo está asentado o no (FAO, 2022), para lo cual, una densidad aparente alta no es tan buena, ya que no favorece el desarrollo radicular de la planta; para el primer muestreo en los resultados se pudo evidenciar que el suelo poseía una densidad alta ($> 1,8 \text{ gr/cm}^3$) que inhibe el crecimiento de las plantas, siendo relativamente homogénea en el lote experimental, encontrándose todas las medias por encima del valor límite recomendado para el cultivo en $1,6 \text{ gr/cm}^3$ (ver Tabla 3).

TABLA 3. Densidad Aparente en espacio y tiempo. Fuente: Los autores.

[gr/cm ³]		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación (%)
Muestreo 1	Testigo	1,897	0,020	0,027
	T1	1,862	0,011	0,009
	T2	1,796	0,023	0,036
	T3	1,866	0,022	0,032
Muestreo 2	Testigo	1,641	0,024	0,038
	T1	1,736	0,043	0,121
	T2	1,769	0,025	0,040
	T3	1,651	0,117	0,913
Muestreo 3	Testigo	1,844	0,025	0,042
	T1	1,893	0,021	0,030
	T2	1,920	0,030	0,061
	T3	1,808	0,030	0,060

En cuanto al análisis espacial del primer muestreo, se esperaba homogeneidad, y el ANOVA demuestra no haber diferencia significativa entre los valores medidos, para un total de 36 muestras (9 en cada tratamiento) como muestran los mapas en la Figura 5 y la Tabla 3. El valor alto se asocia a un asentamiento que se presenta tras nueve meses de abandono por dificultades administrativas en la contratación del personal de la Granja. En general se evidenció la formación de cobertura de malezas cuyo enraizamiento propició la densificación, disminuyendo la aireación y causando retención del agua o encharcamiento por bajo drenaje (baja capacidad de infiltración).

En la Tabla 3 también se aprecian los resultados de la valoración de la densidad aparente en el segundo muestreo, es decir tras la labranza con los diferentes esquemas, lo que evidenció una leve disminución de la D_a del terreno. Esto es posible hasta la profundidad en que se mecanizó, en la cual para la rastra fue de 20 cm y para el cincel 30 – 35 cm (Ruiz et al., 2001), con este último se debe calibrar según el terreno, ya que podría tener repercusiones negativas, llegando a impedir la retención de agua que se iría rápidamente por escorrentía al subsuelo arenoso. Así mismo, en el segundo muestreo el suelo terminó siendo menos denso en todos los tratamientos, que era lo esperado, pero no disminuyó de la misma forma, esto se debe a su cambio de estructura (UNLP,

2019), ya que en muchos casos los suelos poseen estructuras con diferencias entre ellas, para este caso ocurrió que en el testigo disminuyó 13,5% después de la labranza convencional con tres pasadas de rastra, en T1 disminuyó 5,0% con labranza mínima de solo una pasada de rastra y una de cincel, en T2 sorprendió que solo disminuyó 1,5% tras una rastra y dos pasadas de cincel perpendiculares, y en T3 se logró una disminución de 11,5% con una rastra y tres pasadas de cincel cruzadas.

En las zonas de T3 y testigo, al estar sometido a mayor labranza y ser expuestas sus estructuras, se observaron suelos menos densos, caso contrario para las zonas de T1 y T2, donde curiosamente una sola pasada de cincel causó más disminución de la densidad que las dos pasadas perpendiculares (ver los anexos).

En esta oportunidad, se demostró la diferencia espacial significativa entre las densidades aparentes de mayor labranza y las de menor labranza, pero similitud estadística entre T3 y el testigo y entre T1 y T2, respectivamente. Así que un suelo que estaba homogéneo en esta propiedad terminó diferenciándose por zonas por efecto de los tratamientos, este hecho incide en los resultados posteriores del proyecto cuando se quiera analizar el efecto del mecanizado en el rendimiento del cultivo (ver los anexos). Además, se observa en los mapas de la Figura 5 (con más detalle en los anexos), los cambios medidos en el segundo muestreo, donde hubo una mayor presencia de suelo denso en los extremos Norte y Sur del lote, lo cual cambió con el cultivo mostrando de nuevo mayor homogeneidad para el último muestreo.

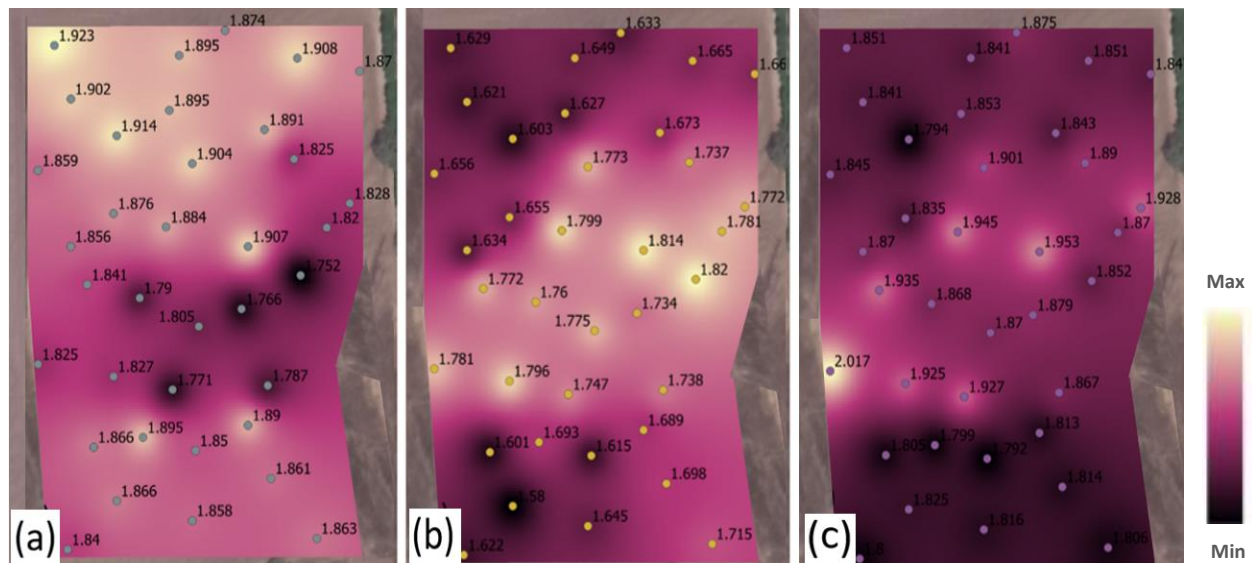


Figura 5. Muestreos antes de labranza (a), después de labranza (b) y después del cultivo (c) de Densidad Aparente. Fuente: Los autores.

Los datos demuestran espacialmente la similitud significativa en dos zonas, con lo que la homogenización lograda al mecanizar se acentuó aún más dividiendo entre tratamientos que se podrían llamar de mayor y de menor labranza; pero nótese que el valor de densidad aparente quedó alto en casi toda el área experimental, y se predice que la labranza no logrará bajarlo hasta un valor adecuado para el desarrollo radicular de las plantas. Además, en la Tabla 3 todos los valores característicos (promedio) están por encima del valor indicado como límite para el desarrollo de raíces de $1,6 \text{ gr/cm}^3$, a partir del cual su crecimiento se inhibe, lo que significa que aún tras el mecanizado el suelo de las parcelas experimentales podría considerarse denso.

Finalmente, en el tercer muestreo se obtuvieron cambios con respecto a los resultados del segundo muestreo. En el análisis temporal se observaron suelos más densos, como era de esperarse, para el caso del testigo 12,4%, para el T1 9,0%, T2 8,5% y T3 9,5%, siendo aumentos bastante equitativos causados por la resiliencia del suelo (al recuperar el estado natural en el que estaba) y por el cultivo. Ésta última causa puede estar ligada a diferentes parámetros que pueden incidir en estos comportamientos, ya que de por sí el enraizamiento genera una mayor densificación en el suelo (Hossne et al., 2017; Scheneider et al., 2017; Molina et al., 2012), lo que ocurrió en todo el terreno de estudio (ver Figura 5). Además, se pudo haber generado densificación por la frecuente entrada y salida de cosechadora y tractor, y a su vez pudo haber existido un mal sistema de drenaje-riego, tales situaciones que influyeron en el aumento de la densidad aparente (Drupal, 2019).

Del mismo modo, el aumento de la densidad por el comportamiento postcosecha permite descartar que la densificación haya sido producida por los pasos del cincel. Así que, aunque el cultivo tuvo el mismo efecto en toda el área experimental, que podría asociarse al asentamiento debido al tiempo por el propio peso, al efecto del agua, a la resiliencia del suelo y al enraizamiento del cultivo de arroz (*Oriza sativa* L.), resultó similar en cada zona de tratamiento. Y aunque las nuevas densidades espacialmente no fueran significativamente diferentes, como se ve en la Tabla 3 y Figura 5, el efecto que se acaba de presentar si se aprecia diferente para el T2 que tuvo un aumento mayor en su media, esto se puede deber a la estructura granular del suelo, a la textura franco arenosa que se presenta en la zona y al sistema de drenaje que se realizó, al igual que a los abonos que fueron agregados durante el cultivo (Amézquita C., 2004).

En la Figura 6, en términos generales, puede apreciarse el efecto del mecanizado, y el aumento de la porosidad del suelo como efecto de los fenómenos discutidos. Se evidencia la diferencia significativa temporal que experimentaron las parcelas de prueba (ver anexos para mayor detalle), pero espacialmente no es tan evidente en los muestreos 1 y 3, pues como se comentó anteriormente, solo se determinaron diferencias significativas en el segundo muestreo y quedaron zonificadas en mayor y menor labranza.

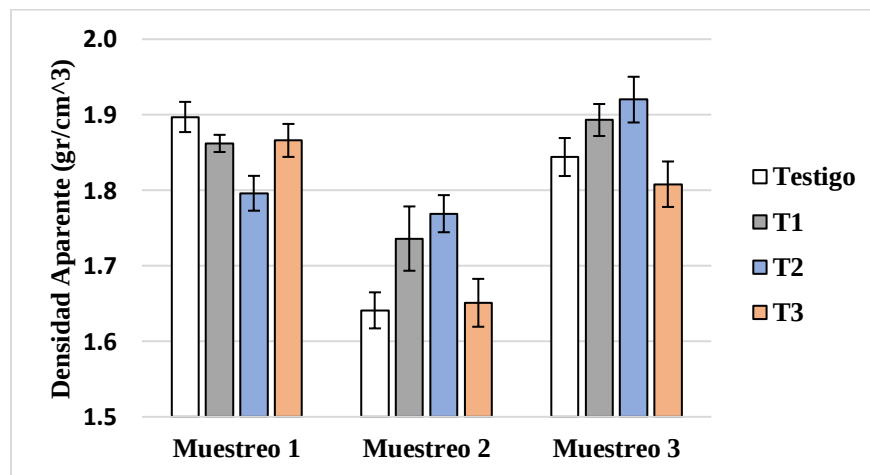


Figura 6. Histograma de Densidad Aparente en espacio y tiempo. Fuente: Los autores.

Para determinar porosidad (n) se aplicó la Ec. (3), en este caso entre mayor sea su porcentaje, mejor será para la planta, ya que ésta permite un mejor y mayor enraizamiento, y a su vez aprovechamiento del agua (González et al., 2011), dado que la propiedad es dependiente de las densidades ya presentadas, siendo la densidad real relativamente constante y homogénea, variando en función de los cambios que experimentó la Da, así, en el primer muestreo se obtuvieron

resultados bajos, entre 30 y 33%, propios de un suelo entre compacto y moderadamente poroso (Gutiérrez, 2018), sin diferencias significativas demostrables, como puede apreciarse en la Tabla 4 y en la Figura 7.

TABLA 4. Porosidad en espacio y tiempo. Fuente: Los autores.

[gr/cm ³]		Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente Variación (%)
Muestreo 1	Testigo	29,95	0,266	4,704
	T1	32,02	0,140	1,298
	T2	33,31	0,141	1,319
	T3	32,17	0,119	0,943
Muestreo 2	Testigo	39,42	0,399	10,616
	T1	37,62	0,224	3,343
	T2	34,68	0,201	2,680
	T3	39,57	0,217	3,125
Muestreo 3	Testigo	33,81	0,143	1,355
	T1	32,22	0,100	0,669
	T2	30,18	0,325	7,060
	T3	34,21	0,110	0,813

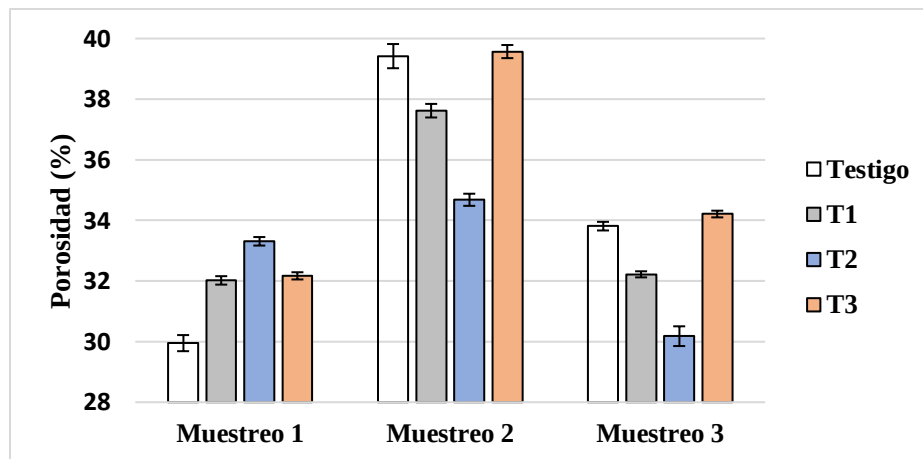


Figura 7. Histograma de Porosidad en espacio y tiempo. Fuente: Los autores.

En la Figura 8 (ver también los anexos) se observa que en el primer muestreo el lote poseía una mayor porosidad en la parte media, y el mecanizado permitió que aumentara por zonas en todo el lote, y para el muestreo 3 el suelo quedó homogéneo. Para el segundo muestreo, al ser comparado con el primero en el estudio temporal, se denota, como era de esperarse, que la zonificación que el mecanizado causó en la Da conllevó lo mismo en la porosidad, pero que aumentó en todos los tratamientos, demostrando que fue a causa de la labranza; ya para la zona de mayor labranza, en el testigo aumentó 31,62%, y en T3 23%, mientras que en la zona de menor labranza, en T1 aumentó 17,49% y en T2 tan solo 4,11% el porcentaje de poros, conduciendo a convertir el suelo más labrado en un suelo poroso mientras el de menor trabajado siguió siendo moderadamente poroso, esto puede conllevar a esta zona a tener problemas en almacenar la humedad en el suelo y poca escorrentía (Shaxson & Barber, 2005).

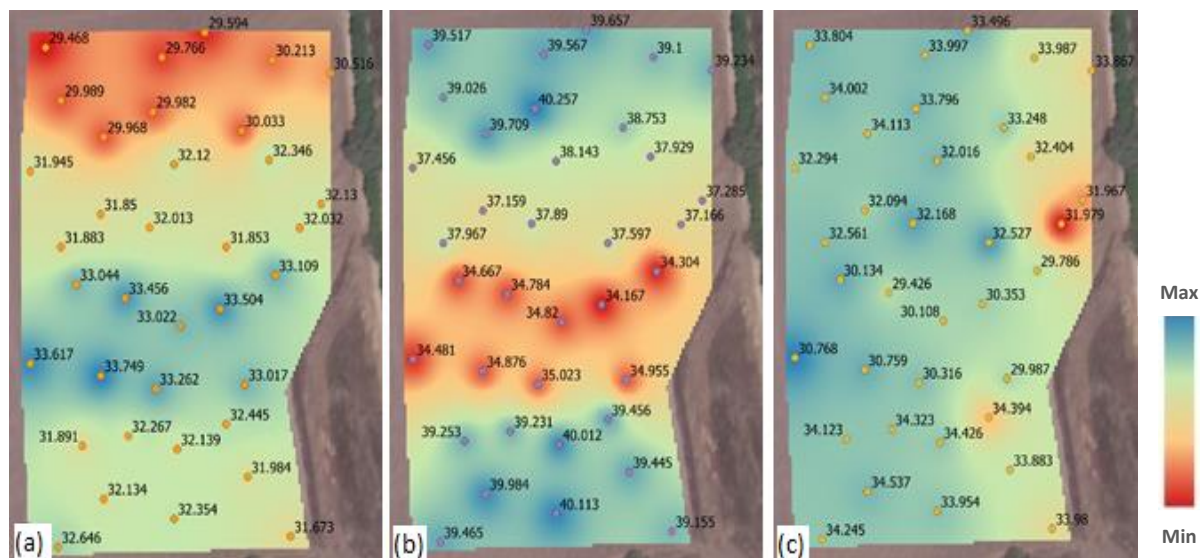


Figura8. Muestreos antes de labranza (a), después de labranza (b) y después del cultivo (c) de Porosidad. Fuente: Los autores.

En el tercer muestreo, se obtuvo una equivalencia en todos sus datos, pero al ser comparados con el segundo muestreo, demuestra una pérdida de la porosidad en todos los tratamientos, siendo este fenómeno causado por el cultivo, debido a que la porosidad está ligada al sistema de drenaje o escorrentía que tenga el terreno, siendo el arroz un cultivo de riego por inundación, lo cual difiere en no tener escorrentía y estar siempre encharcado, afectando de forma significativa la porosidad en todo el área de estudio (Ellies et al., 1993) (remitirse a los anexos para más información). La disminución de la porosidad entre el segundo y tercer muestreo dio como resultados una disminución del 16,59% para el testigo, 16,76% para el T1, 14,91% T2 y un 15,67% para T3, mostrando que el efecto del cultivo, el agua y el tiempo en la disminución de porosidad del suelo fue homogéneo, tal como se discutió hablando de la densidad aparente.

2.2 Evaluación de rendimiento del cultivo.

Finalizado el análisis estadístico, se empieza a observar si hay diferencias significativas en las etapas del cultivo. Cabe resaltar que los cambios generados entre el primer y segundo muestreo de suelo están ligados a la labranza realizada, y los cambios entre segundo y tercero, que corresponde a la etapa de cosecha, se presume fueron causados por el cultivo. A partir de allí se dan los análisis y resultados de los datos procesados. Durante la ejecución de los procesamiento estadísticos por medio del análisis ANOVA de los datos obtenidos durante el seguimiento fenológico al cultivo, se observó que no existía una diferencia significativa para las mediciones del crecimiento de la planta, por lo tanto, se tomaron las medias de cada grupo de muestras (de los datos) y las de cada parcela, para así obtener un solo dato característico por tratamiento.

En el análisis temporal se observa el efecto de la mecanización por medio del cincel vibratorio para el rendimiento del cultivo. Para efectos de este se tuvieron en cuenta distintas mediciones, como es el caso de la cantidad de plantas germinadas, el número de macollas en distintas fases de crecimiento y el número de panículas en la etapa de madurez fisiológica. Al final se graficaron estas mediciones y se observó el comportamiento del cultivo en cada uno de los tratamientos.

La Figura 9 manifiesta que el cultivo presentó una germinación homogénea y que a su vez es baja para todos los tratamientos, aunque el conteo realizado pudo haber no contado las semillas que

presentan latencia, ya que, la germinación de algunas semillas puede retardarse entre 4 y 5 días. Estos días pueden ser cruciales para la aparición de macollas en el resto de las semillas que no presentaron latencia (Rivas & Mosquera, 2020). Aun así, se considera una emergencia baja teniendo en cuenta que según la densidad de siembra de 150 kg/ha se estima que fueron esparcidas aproximadamente 500 semillas/m², y, en promedio, se contaron entre 213 y 227 plantas germinadas.

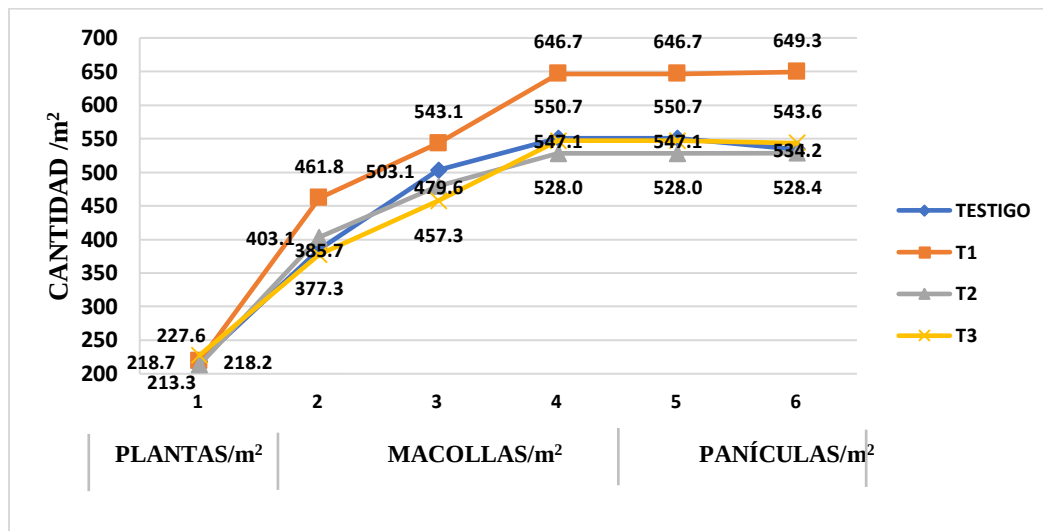


Figura 9. Gráfica de desarrollo fenológico del cultivo. Fuente: los autores.

Para el caso de la cantidad de macollas, el número de estas varía respecto a la densidad de siembra (entre 3 y 15 macollas/planta), a la variedad y a factores ambientales (Rivas & Mosquera, 2020; Jarma et al., 2010). De ese modo se puede apreciar el aumento a través del tiempo, siendo el T1 el que presentó siempre el mayor número de macollas, con un 14,8% de más con respecto al Testigo, un 15,4% respecto a T3, y un 18,3% con respecto a T2 quien obtuvo el menor número de macollas al final, aunque no fuera así en los primeros conteos. Al final de la fase de macollamiento todos los tratamientos presentaron entre 2.5 y 2.9 macollas/semilla germinada (entre 528 y 646 por m²), que estaría dentro de los reportes realizados por Villalba (2017), de entre 572 y 602 macollas/m², lo que termina siendo un referente importante en la fase de macollamiento y posterior rendimiento del cultivo, como lo determina al final el número de panículas y el número de macollas.

La Figura 10 reporta el crecimiento del cultivo a través del tiempo, diferentes autores determinan que los datos reportados al finalizar la fase lineal de crecimiento (curva sigmoide), son bajos en relación a los obtenidos en el presente estudio (Villalba et al., 2017; Vergara, 2022). De ese modo, la Figura muestra que el crecimiento para los tratamientos T1, T2 y Testigo, a pesar de ser bajos, fueron homogéneos a través del tiempo, mientras que en toda la fase de crecimiento el T3 presentó un crecimiento ligeramente mayor; dicho crecimiento se estima fue causado por ser la entrada inicial del suministro de agua, la cual, según la textura del suelo (franco arenoso), presenta menores pérdidas de infiltración en el transporte (en el canal), y permite que se incrementen al aumentar la distancia entre entradas. Del mismo modo, el tiempo de riego para cada parcela varió con respecto al recorrido de una entrada a otra, siendo menor el tiempo de entrada del agua y la distancia recorrida en T3. Por otro lado, Carrasco (2019) demuestra que, para canales sin revestimiento con suelos franco-arenosos, las pérdidas por infiltración pueden ser hasta del 25,89% del riego

empleado. De ese modo, dicha estimación se supone al no haber incidencia del mecanizado en las propiedades físicas del suelo, ni en el crecimiento del cultivo.

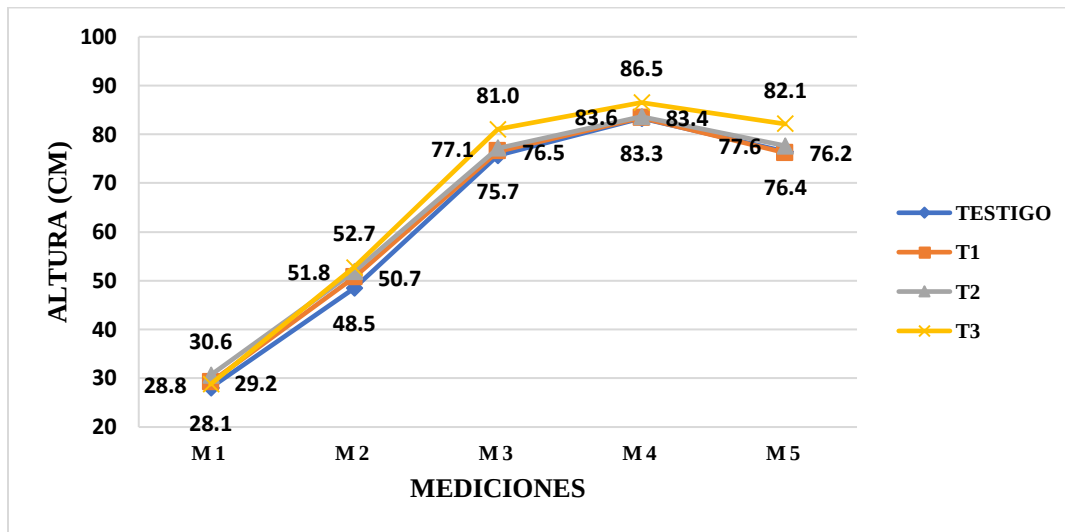


Figura 10. Gráfica de crecimiento del cultivo. Fuente: los autores.

El rendimiento se estableció en el último muestreo, el de madurez a cosecha, donde se pesó el total de granos llenos recogidos en cada aforador que tenían dimensiones de 50x50cm, siendo este peso el equivalente a un área de 0.25 m², así dicho peso fue fácilmente extrapolado al que produciría una hectárea de iguales condiciones.

Tras el ANOVA se estableció el rendimiento proyectado de cada tratamiento, así, según las mediciones, se pronosticaba un rendimiento de 130 bultos/ha en el Testigo, 136 bultos/ha en T1 y T2, y 141 en T3. Este pronóstico no tenía en cuenta el vaneamiento ni las pérdidas por cosechadora, pero sí las pérdidas naturales que no se pudieron recoger. Los datos tomados difieren a los resultados reportados por el mayordomo y el maquinista (104 bultos/ha para los tratamientos T1, T2 y Testigo, y 170 en T3), ya que el cultivo no presentó homogeneidad en ninguno de los tratamientos, esto se puede deber a la topografía del terreno, a la forma del riego empleado, y al no haber suficiente homogeneidad en la aplicación de abonos y defensivos (al realizarse de forma convencional). Por otro lado, los puntos donde se localizaban los aforadores coincidían en las zonas de mediano y alto rendimiento; diferencia que no puede explicarse con pérdidas naturales o por cosechadora.

Es muy importante resaltar que, para el análisis del comportamiento del rendimiento, se realizó el seguimiento espacial del último conteo de macollas, panículas y el rendimiento del cultivo (ver los anexos para mayor información), los mapas presentados en la Figura 11 permiten comparar los datos de los últimos conteos de macollas y panículas con el pesaje de granos en cada aforador y su distribución espacial, para observar más a fondo si existe correlación entre ellos y así poder confirmar las diferentes 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 en la caracterización se mostró que la porosidad al momento de la siembra tenía un valor relativamente bajo que, según autores, dificultaría el crecimiento de raíces.

Aun así, las curvas de crecimiento y rendimiento ya predecían la homogeneidad de la producción, lo que muestra la fuerte correlación existente entre las propiedades del suelo y el rendimiento del

cultivo. Otra causa posible a este comportamiento es la forma de riego (Lauric et al., 2017), pues la presencia, cantidad y calidad del agua de riego afecta el crecimiento de la planta, pero al ser por inundación y al poseer diferentes pérdidas y tiempos de entrada en las parcelas, el comportamiento de los datos espaciales no mostró una homogeneidad total del riego en el cultivo. Otra hipótesis sería la forma del abono agregado (García, 2002), ya que el riego pudo haberlo concentrado en algunas partes y otras no, afectando esto el embuchamiento del grano (Gnecco et al., 2000).

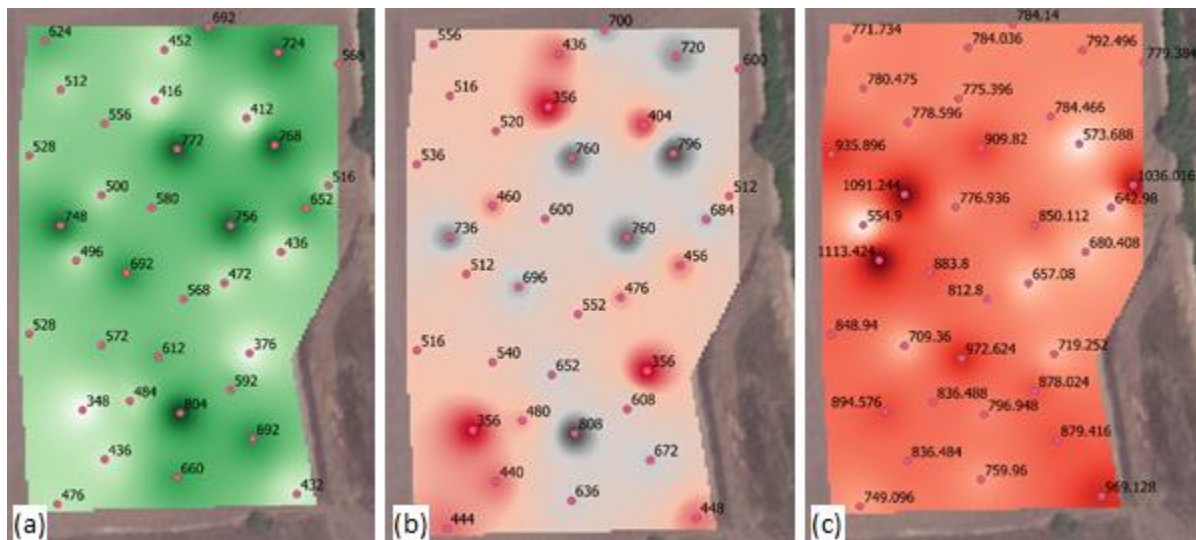


Figura 11. (a) Conteo final de macollas, (b) Conteo final de panículas y (c) Rendimiento en gr/m^2 . Fuente: autores.

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

Este proyecto que pretendía establecer la relación existente entre diferentes estrategias de preparación mediante labranza cada vez menos agresiva, no mostró un efecto sustancial ante el rendimiento del cultivo de arroz en la Granja Experimental de la USCO.

En las Figura 4 y 5 se evidenció el comportamiento del cambio que tuvieron las propiedades físicas a través del tiempo, mostrando una disminución en la densidad aparente y un aumento en la porosidad por efecto del mecanizado, mientras que, por efecto del cultivo y el tiempo, estas cambiaran inversamente.

Nótese en las Tablas 3 y 4 el fenómeno de zonificación, el cambio de la densidad aparente tiene un comportamiento tal que a mayor mecanizado es menor la densidad, comparando T1 con el testigo se hace evidente, pero el problema lo causa el hecho de que T2 fuera menor que T1 siendo mayor el grado de labranza. El fenómeno con la porosidad es similar puesto que esta propiedad depende de las dos densidades, el hecho de que la densidad aparente variará en el lote experimental conlleva a que la porosidad se comportará igual, pero las diferencias por zonas (mayor y menor labranza) no fueron muy significativas y terminó generando homogeneidad en todo el lote; esto explicó que el crecimiento, el rendimiento y, en general, la producción fueran tan similares en todos los tratamientos, y permitió establecer la relación entre las propiedades del suelo y la producción, pero impide relacionar el grado de mecanización con la producción en este estudio.

2.4 Análisis tecno económico.

Una vez finalizada la recolección y obtención de resultados en base a la cosecha, se realizó el respectivo análisis de precios. En este análisis se tuvieron en cuenta parámetros como: los costos

de fertilización y fumigación, los costos de las labores de mecanización, mano de obra empleada y gastos varios en los que se incluye el costo del servicio de riego, los planes de fertilización y demás (para ver con más detalle remitirse a los anexos).

Dentro de los gastos empleados para la implementación del cultivo se observó, al igual que en la porosidad y la densidad aparente, gran similitud entre grupos de tratamientos, en los cuales T4 y T3 presentaron gran similitud siendo el T3 el tratamiento de mayor inversión y tan solo un 2% mayor respecto a T4; mientras que T2 resultó siendo tan solo un 1,4% mayor a T1, quien presentó el menor gasto de inversión en la implementación del cultivo (Ver Tabla 6). Por otro lado, la producción (el ingreso) presentó gran similitud entre los tratamientos T1, T2 y T4, los cuales presentaron el mismo valor (\$5'443,776.00), mientras que T3 obtuvo la mayor producción siendo un 38,8% mayor respecto a los demás tratamientos, como se observa en la Tabla 6 y en los anexos.

TABLA 6. Costos de producción, gastos y ganancias de cosecha. Fuente: Los autores.

COMPARACIÓN DE COSTOS POR TRATAMIENTO			
TRATAMIENTOS	PRODUCCIÓN	GASTOS	GANANCIA
Testigo	\$ 5.443.776,00	\$ 3.704.715,88	\$ 1.739.060,13
T1	\$ 5.443.776,00	\$ 3.464.715,88	\$ 1.979.060,13
T2	\$ 5.443.776,00	\$ 3.514.715,88	\$ 1.929.060,13
T3	\$ 8.898.480,00	\$ 3.782.515,88	\$ 5.115.964,13

Al finalizar la cosecha, la mejor ganancia la presento el T3, el cual represento el 47,5% de la ganancia total, seguido por T1 con el 18,38%, T2 con el 17,32% y T4 con un 16,15% respecto a la ganancia total. De ese modo se puede observar que a pesar de que las propiedades físicas del suelo no influyeran significativamente sobre la producción del cultivo, si genera un aumento económico sustancial el uso de la labranza reducida respecto a la convencional. Este aumento se debe a que la labranza convencional requiere de mayores costos de operación en comparación a la labranza reducida (con cincel), y siendo esta última la que presenta mayores beneficios en la producción y en la tasa costo – beneficio (Cadena et al., 2022).

3. CONCLUSIONES

Al evaluar las propiedades físicas del suelo y su efecto en el rendimiento en el cultivo del arroz, se comprobó que la densidad real es una característica más o menos constante del suelo por depender de su composición, y que el mecanizado causo la mayor disminución de la densidad aparente en el T3, con un 13% de diferencia respecto al TESTIGO, 5% al T1 y 1,5% al T2, con lo cual se infiere que tres pasones de cincel tienen un efecto similar al de tres pasones de rastra.

Así mismo, se demostró que el mecanizado aumenta en un 31,62% la porosidad en el TESTIGO y 23% en T3 (en las zonas de mayor incremento), los cuales presentaron un comportamiento inverso en la relación costo beneficio, los cuales presentaron valores de 47,5% en T3 y 16,15% en el TESTIGO respecto al costo total.

En la evaluación del rendimiento en el cultivo de arroz (*Oriza sativa* L.), lamentablemente, no hubo la correlación esperada respecto a las estrategias de labranza por la inesperada homogenización de la porosidad en el lote experimental; llegando al resultado de que la labranza con cincel sí produjo

cambios en el suelo, pero que finalmente no pudieron correlacionarse con el rendimiento del arroz que resulto similar en casi todas las parcelas experimentales.

Por otro lado, se demuestra que modificar la labranza primaria haciendo uso del cincel y obtener los mismos resultados en la producción de arroz, hace que se pueda cambiar la forma de hacer labranza usando un método de conservación que brinde las mismas características del método convencional, sin afectar la productividad y siendo menor el costo de producción.

RECOMENDACIONES

Dentro del proceso de labranza y cosecha del lote, sucedieron eventos que afectaron parámetros físicos del suelo, debido al desconocimiento por parte del personal que labora y hace seguimiento, se recomienda para una próxima siembra, graduar la profundidad del cincel (afectando la densidad aparente), tener un mejor riego y drenaje (afecta porosidad y densidad real), controlar el debido esparcimiento o método de abonado (porosidad y rendimiento) y trabajar en suelos planos y menos rocosos.

REFERENCIAS

- Álvarez C. F., Gutierrez Boem, M. Tabobada, P. Prystupa, J. Ocampo. (2004). Propiedades físicas y biológicas del suelo bajo distintos manejos en el norte de Buenos Aires. Pp. 223 Acta XIX Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Amézquita, E. C, (1998). Propiedades físicas de los suelos de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza. Físico de Suelos. CIAT, Cali, Colombia.
- Amézquita C., E. (2004). La fertilidad física del suelo. XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la ciencia del suelo sobre “Suelo, ambiente y seguridad alimentaria”. Cartagena de Indias. Obtenido de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29045>
- Cadena-Zapata, M., López-López, J. A., López-López, G. F., Valenzuela-García, J. R., & de Jesús Vargas-Arellano, J. Índice de costo-beneficio de sistemas de labranza. Agraria, edición especial núm 1, 2022. Tomado de: http://revistaagraria.com/archivos/pdf/pdfVolNum_29_idPu_162_10.pdf
- Carrasco, B. (2019). Representación espacial de las pérdidas de agua por infiltración, en el canal San Martín de la comisión de usuarios seminario, empleando sistema de información geográfica. Universidad Nacional de Piura Facultad de Agronomía. 23-26. Piura, Perú. Tomado de: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2081>
- Chinchilla Cuevas, 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, Nunchía-Casanare (Doctoral dissertation).
- de Carvalho, W., da Silva C., Muselli, A., Koenow H., Rendeiro N., & Barge, S. (2014). Método do hipercubo latino condicionado para a amostragem de colos na resença de covariáveis ambientais visando o mapeamento digital de solos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Viçosa, Brasil, 38(2), 386-396. Obtenido de: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2081>
- Drupal. (2019). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. Obtenido de Soluciones para la compactación del suelo: https://digital-library-drupal.s3.sa-east-1.amazonaws.com/library-content/soluciones_para_la_compactacion_del_suelo.pdf
- Ellies, A., Ramirez, C., MacDonald, R., & Figueroa S., H. (1993). Modificaciones estacionales en la distribución del espacio poroso por tamaño en un suelo sometido a variado uso forestal.

- Bosque, 14(2), 31-35. <http://revistas.uach.cl/index.php/bosque/article/view/4610>
doi:10.4206/bosque.1993.v14n2-05
- FAO. (2022). Portal de Suelos de la FAO. Obtenido de Propiedades Físicas del Suelo: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Fedearroz, (2015). Guía de Fertilización del Arroz.
- García, F. (2002). Beneficios potenciales del uso de las herramientas de Agricultura de Precisión en el diagnóstico y aplicación de fertilizantes. INTA. Obtenido de <https://silo.tips/download/beneficios-potenciales-del-uso-de-las-herramientas-de-agricultura-de-precision-e>
- García, J., & Durán, R. (1998). Evaluación de varios sistemas de labranza en un suelo algodonero del Valle del Cesar.
- Gnecco, M., Valera, L., Orozco, G., Bonilla Buitrago, R., Murillo S., J., & Aarón Rojas, M. (2000). Técnicas de Labranza e Incorporación de Abonos Verdes para el Mejoramiento y Conservación de Suelos Algodoneros. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Obtenido de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21286>
- Gómez-Calderón, N; Villagra-Mendoza, K; Solorzano-Quintana, M. (Enero-Marzo 2018). Soil tillage and it's impact on soil. Tecnología en Marcha, 31(1), 170-180. doi: 10.18845/tm.v31i1.3506
- González-Barrios, J., González-Cervantes, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A., & Valenzuela-Núñez, L. (septiembre de 2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. Terra Latinoamericana (29), 369-377. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n4/2395-8030-tl-29-04-00369.pdf>
- Gutiérrez Marroquín, H. (2018). Diagnóstico de la compactación de suelos arroceros del municipio de Campoalegre-Huila. UNal sede Medellín. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69299>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos (Segunda ed.). Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Hossne García, A., Méndez Natera, J., Leonett Paisano, F., Meneses Lira, J., & Gil Marín, J. (2017). Terramecánica del desarrollo radicular del maíz. Revista UTCiencia, 4(3). Obtenido de <http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/utciencia/article/view/84>
- Icontec. (1994). NTC 1776:1994 Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados. Icontec. Obtenido de https://kupdf.net/download/ntc-1776-metodo-de-ensayo-para-determinar-por-secado-el-contenido-total-de-humedad-de-los-agregados_59c852ad08bbc576186872b1_pdf
- Icontec. (2018). NTC 6299:2018 Calidad del suelo. Determinación de la textura por Bouyoucos. Icontec. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-calidad-del-suelo-determinacion-de-la-textura-por-bouyoucos-ntc6299-2018.html>
- Jarma, A., Degiovanni, V., & Montoya, R. (2010). Índices fisiológicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1, 60-78. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=vdw-JYBkra8C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Jaurixje, Margareth; Torres, Duilio; Mendoza, Betty; Henríquez, Manuel; Contreras, Jorge Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, estado Lara Bioagro, vol. 25, núm. 1, enero-abril, 2013, pp. 47-56 Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Barquisimeto, Venezuela. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/857/85726736002.pdf>

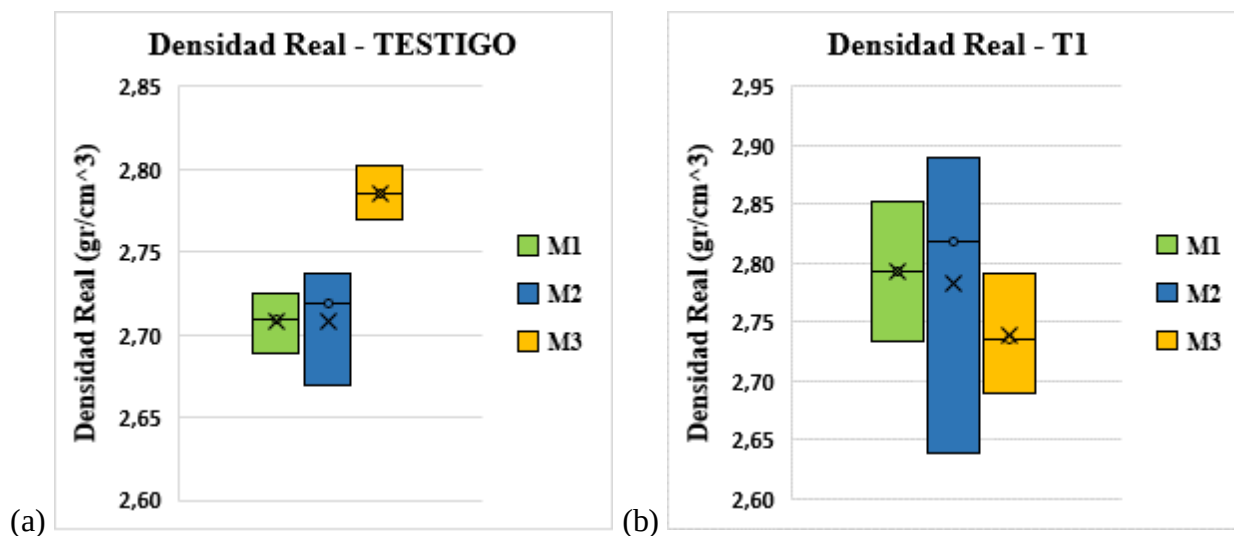
- Lauric, M., De Leo, G., Cerda, C., Torres Carbonell, C., Marini, M., & Kruger, H. (2017). Efectos de la utilización del cincel en una pastura implantada de agropiro alargado (*Thinopyrum Ponticum*). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Obtenido de <https://inta.gob.ar/documentos/efectos-de-la-utilizacion-del-cincel-en-una-pastura-implantada-de-agropiro-alargado-thinopyrum-ponticum>
- Liu, Z. Z., Li, W., & Yang, M. (29 de Julio de 2015). Two General Extension Algorithms of Latin Hypercube Sampling. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1-9. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.1155/2015450492>
- Molina, V., Moreno, M., Salas, J., Rodríguez, H., Rodríguez, E., & Silva, I. (2012). La resiliencia del recurso suelo. Red Iberoamericana y del Caribe de Restauración Ecológica (RIACRE), 6, 1, 16-18. Nuevo Leon, México.
- Montana. (Octubre de 2018). Maquinaria Montana. Obtenido de Catálogo General: http://www.maquinariamontana.com/images/catalogos/CG%20Montana%202018_2.pdf
- Nawaz, A., Farooq, M. Lal, R., Rehman, A., & Rehman, H. (Junio de 2017). Comparison of conventional and conservation rice-wheat systems in Punjab, Pakistan. *Soil and Tillage Research*, 169, 35-43. Doi: doi.org/10.1016/j.still.2017.01.012.
- Pidgeon, J.D. (1983). Paraplaw – A new approach to soil loosening. ASAE Paper N° 83-2136. St Joseph, Mi. ASAE.
- Puerres, J., Ibarguen, E., & Cerón, M. (23 de Enero de 2021). Aplicaciones of the latin hypercube method for the estimation of parameters of mathematical models from a pedagogical perspective. *Boletín Redipe*, 10 (5), 208-219.
- Rivas Moreno, M., & Mosquera Mena, R. (2020). Evaluación de la germinación y producción de las variedades de arroz (*O. sativa*) f68 y f2000 en el municipio de Turbo Antioquia. UNAD. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/37921>
- Ruiz E., H., Legarda, L., & Amézquita C., E. (2001). Algunos cambios en las propiedades físicas de un suelo vertisol, sometido a mecanización intensiva, en el valle geográfico del río Cauca. *Revista de Ciencias Agrícolas*. Obtenido de <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1006>
- Schneider, F., Don, A., Hennings, I., Schmittmann, O., & Seidel, S. (Diciembre de 2017). The effect of Deep tillage on crop yield – What do we really know? (Elsevier, Ed.) *Soil and Tillage Research*, 174, 193-204. Tomado de: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.005>
- Sosa, A. (2012). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Obtenido de Cómo realizar un muestreo de suelo: <https://inta.gob.ar/documentos/muestreo-de-suelos>
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo. Roma: FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/publications/card/es/c/6180fe75-f5b0-5702-a5f8-fd7de914d2c1/>
- UNLP. (2019). Porosidad y aireación densidad real y aparente. Obtenido de Curso Edafología: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod_resource/content/1/POROSIDAD%20Y%20AIREACION%2026-3-19.pdf
- Vergara, K. (2022). Efecto de dos métodos de riego sobre el comportamiento fisiológico y rendimiento en variedades de arroz de ciclo corto, intermedio y largo. 1-54. Talca, Chile. Obtenido de: <http://dspace.ultaca.cl/bitstream/1950/12898/3/2022.A000724.pdf>
- Villalba, J., Jarma, A., & Combatt, E. (18 de Mayo de 2017). Respuesta fisiológica de cultivadores de arroz a diferentes épocas de siembra en Córdoba, Colombia. *Temas Agrarios*, 22(2), 1-11. Obtenido de: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/307/940-2453-2-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

ANEXO 1. Tabla de cronograma de fertilización del cultivo recomendado por Fedearroz.

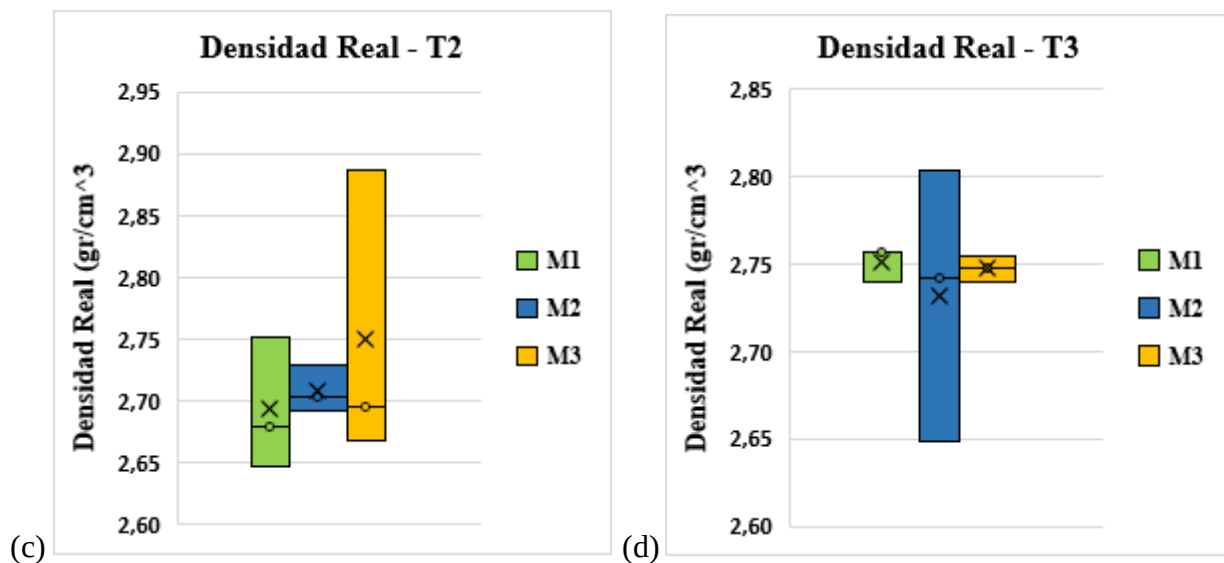
FERTILIZACIÓN	FECHA APLICACIÓN	PRODUCTOS RECOMENDADOS	DOSIS (2 Ha)
1	21/01/2022	- Urea granulada 46-0-0 “CIAMSA AGRICOLA” (50 kg) - Olafos – S “Fosfatos del Huila” (50 kg) - Agrimins Granulado 8-5-0-6 (Mg) “COLINAGRO” (46kg)	4 bultos 2 bultos 2 bultos
2	07/02/2022	- Urea granulada 46-0-0 “CIAMSA AGRICOLA” (50 kg) - Olafos – S “Fosfatos del Huila” (50 kg) - KCL Granulado 0-0-60 (50kg) - Terrabiol Granulado (40Kg)	4 bultos 2 bultos 3 bultos 3 bultos
3	22/02/2022	- Sulfato de amonio 21-0-0-24 (S) “SAM” (50 kg) - DAP 18-46-0 (50 kg) - KCL Granulado 0-0-60 (50kg) - Sulcamag (50 kg)	2 bultos 4 bultos 4 bultos 2 bultos
4	10/03/2022	- Sulfato de amonio 21-0-0-24 (S) “SAM” (50 kg) - KCL Granulado 0-0-60 (50kg) - Urea granulada 46-0-0 “CIAMSA AGRICOLA” (50 kg)	2 bultos 6 bultos 4 bultos

ANEXO 2. Diferencias temporales de la Densidad Real para cada tratamiento.



Anexo 2. (a) Box Plot entre muestreos para el Testigo; (b) Box Plot entre muestreos para T1.

Fuente: los autores.



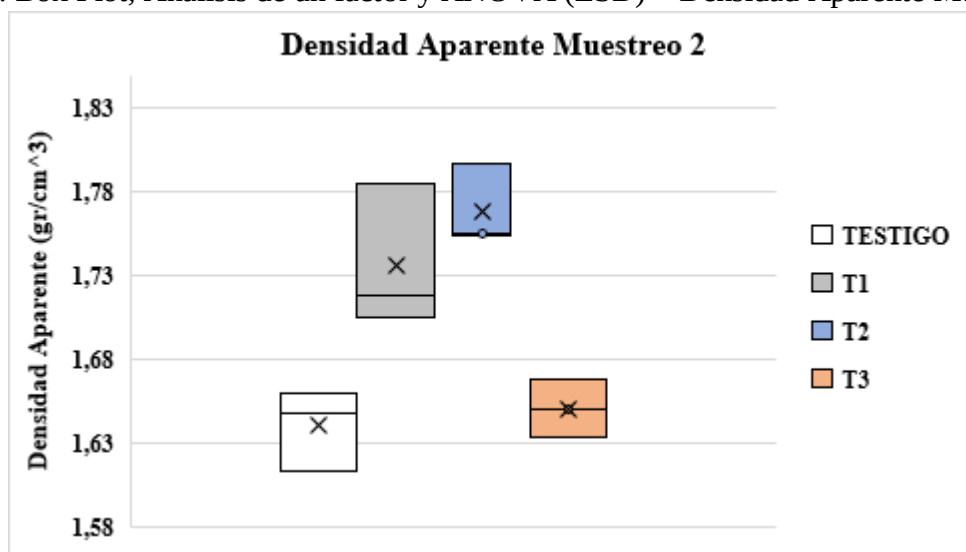
Anexo 2. (c) Box Plot entre muestreos para el T2; (d) Box Plot entre muestreos para T3.
Fuente: los autores.

ANEXO 3. Tratamiento, porcentaje de agregados y tipo de suelo según prueba de Textura.

Textura					
Tratamiento	Muestreo	%Arena	%Arcilla	%Limo	Tipo de Suelo
TESTIGO	M1	78,7	14,7	6,6	Franco arenoso
TESTIGO	M2	76,3	16,0	7,7	Franco arenoso
TESTIGO	M3	73,0	18,1	8,9	Franco arenoso
T1	M1	75,3	13,8	10,9	Franco arenoso
T1	M2	74,3	19,1	6,6	Franco arenoso
T1	M3	73,7	18,8	7,6	Franco arenoso
T2	M1	75,7	12,9	11,5	Franco arenoso
T2	M2	67,6	17,4	15,0	Franco arenoso
T2	M3	64,3	19,6	16,1	Franco arenoso
T3	M1	77,7	11,9	10,5	Franco arenoso
T3	M2	76,3	14,6	9,1	Franco arenoso
T3	M3	74,6	15,3	10,0	Franco arenoso

Anexo 3. Tabla de promedio de Textura en cada muestreo. Fuente: los autores.

ANEXO 4. Box Plot, Análisis de un factor y ANOVA (LSD) – Densidad Aparente Muestreo 2.



(a)

Anexo 4. (a) Box Plot Densidad Aparente segundo muestreo. Fuente: Los autores.

ANÁLISIS DE UN FACTOR PARA DENSIDAD APARENTE - MUESTREO 2						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	4,922	1,640666667	0,000569333		
Columna 2	3	5,209	1,736333333	0,001812333		
Columna 3	3	5,306	1,768666667	0,000602333		
Columna 4	3	4,953	1,651	0,000289		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0358617	3	0,011953889	14,60909122	0,0013079	4,066180551
Dentro de los g	0,006546	8	0,00081825			
Total	0,0424077	11				
Hipotesis		Se rechaza la hipotesis alternativa				
SIGNIFICATIVA		Se acepta la hipotesis Nula				

(b)

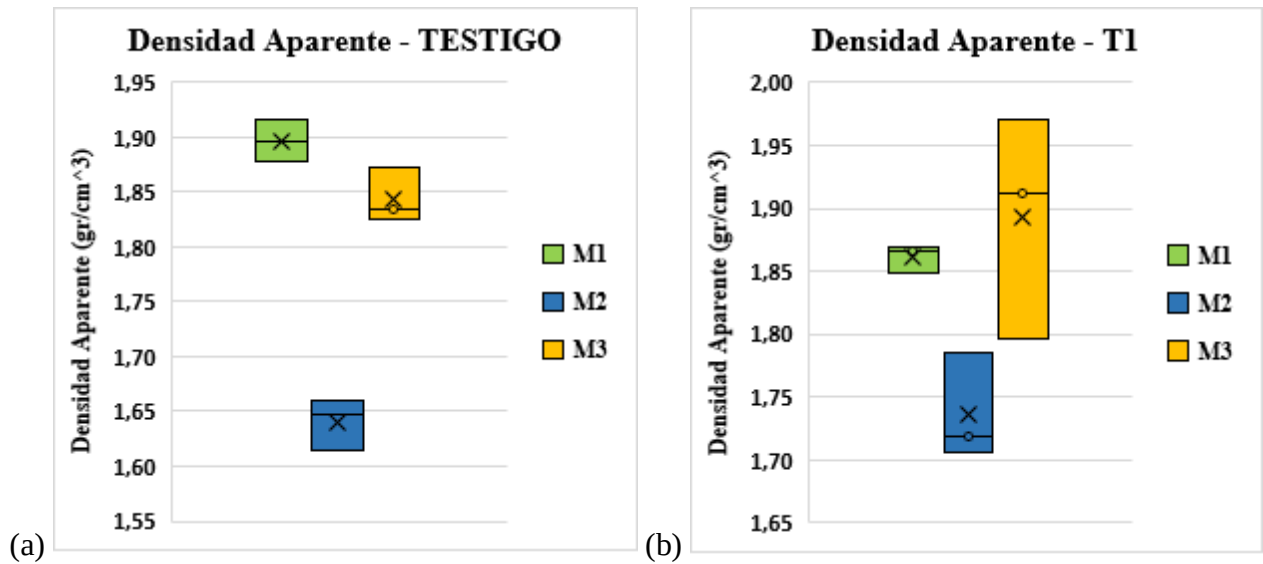
Anexo 4. (b) Análisis de un factor Densidad Aparente segundo muestreo. Fuente: Los autores.

MÉTODO LSD PARA DENSIDAD APARENTE - MUESTREO 2						
Confianza	0,05		HIPÓTESIS	DIFER MUESTRAL	LSD	DECISIÓN
N	12		T-T1	0,096	0,054	SIGNIFICATIVA
K	4		T-T2	0,128	0,054	SIGNIFICATIVA
a/2	0,025		T-T3	0,010	0,054	NO SIGNIFICATIVA
N-K	8		T1-T2	0,032	0,054	NO SIGNIFICATIVA
t 0.025;8	2,306		T1-T3	0,085	0,054	SIGNIFICATIVA
n	3		T2-T3	0,118	0,054	SIGNIFICATIVA
Cme	0,001					

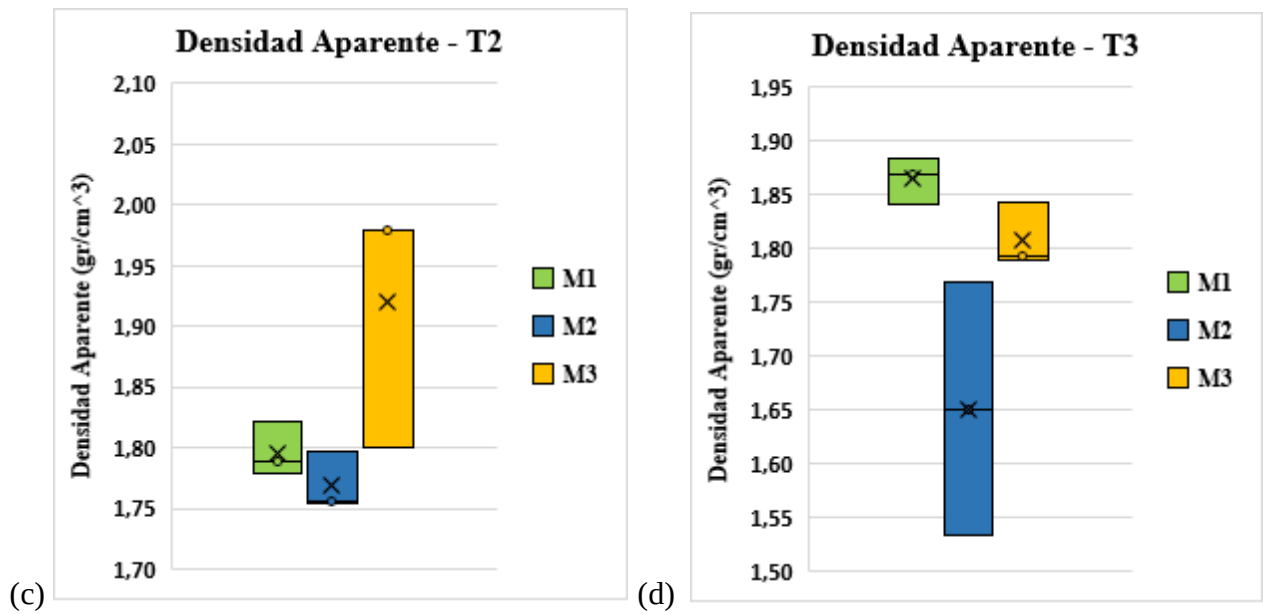
(c)

Anexo 4. (c) Método LSD – Densidad Aparente segundo muestreo. Fuente: Los autores.

ANEXO 5. Diferencias temporales de la Densidad Aparente para cada tratamiento.



Anexo 5. (a) Box Plot entre muestreos para el Testigo; (b) Box Plot entre muestreos para T1.
Fuente: los autores.



Anexo 5. (c) Box Plot entre muestreos para el Testigo; (d) Box Plot entre muestreos para T1.
Fuente: los autores.

ANEXO 6. Diferencias temporales de la porosidad entre muestreos para cada tratamiento.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR PARA EL TESTIGO ENTRE MUESTREOS						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	89,843	29,94766667	0,070571444		
Columna 2	3	118,2733333	39,42444444	0,159238926		
Columna 3	3	101,4366667	33,81222222	0,020358481		
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL TESTIGO ENTRE MUESTREOS						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	136,241145	2	68,12057248	816,8951328	4,89879E-08	5,14325285
Dentro de los g	0,500337704	6	0,083389617			
Total	136,7414827	8				
Hipótesis		Se rechaza la hipótesis alternativa				
SIGNIFICATIVA		Se acepta la hipótesis Nula				
MÉTODO LSD PARA EL TESTIGO ENTRE MUESTREOS						
Confianza	0,05		HIPÓTESIS	DIFER MUESTRAL	LSD	DECISIÓN
N	9		M1-M2	9,477	0,577	SIGNIFICATIVA
K	3		M1-M3	3,865	0,577	SIGNIFICATIVA
a/2	0,025		M2-M3	5,612	0,577	SIGNIFICATIVA
N-K	6					
t 0.025;6	2,447					
n	3					
Cme	0,083					

(a)

Anexo 6. (a) Análisis de un factor y Método LSD para el TESTIGO entre Muestreos.
Fuente: Los autores.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR PARA EL T1 ENTRE MUESTREOS						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	96,05733333	32,01911111	0,019560148		
Columna 2	3	112,864	37,62133333	0,050029778		
Columna 3	3	96,67	32,22333333	0,010106778		
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL T1 ENTRE MUESTREOS						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor critico para F
Entre grupos	60,56500454	2	30,28250227	1139,915487	1,80851E-08	5,14325285
Dentro de los g	0,159393407	6	0,026565568			
Total	60,72439795	8				
Hipótesis		Se rechaza la hipótesis alternativa				
SIGNIFICATIVA		Se acepta la hipótesis Nula				
MÉTODO LSD PARA EL T1 ENTRE MUESTREOS						
Confianza	0,05		HIPÓTESIS	DIFER MUESTRAL	LSD	DECISIÓN
N	9		M1-M2	5,602	0,326	SIGNIFICATIVA
K	3		M1-M3	0,204	0,326	NO SIGNIFICATIVA
a/2	0,025		M2-M3	5,398	0,326	SIGNIFICATIVA
N-K	6					
t 0.025;6	2,447					
n	3					
Cme	0,027					

(b)

Anexo 6. (b) Análisis de un factor y Método LSD para el T1 entre Muestreos.
Fuente: Los autores.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR PARA EL T2 ENTRE MUESTREOS						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	99,92666667	33,30888889	0,019803704		
Columna 2	3	104,0256667	34,67522222	0,040066926		
Columna 3	3	90,53866667	30,17955556	0,242287259		
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL T2 ENTRE MUESTREOS						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	31,87061267	2	15,93530633	158,2150285	6,44388E-06	5,14325285
Dentro de los g	0,604315778	6	0,100719296			
Total	32,47492844	8				
Hipótesis		Se rechaza la hipótesis alternativa				
SIGNIFICATIVA		Se acepta la hipótesis Nula				
MÉTODO LSD PARA EL T2 ENTRE MUESTREOS						
Confianza	0,05		HIPÓTESIS	DIFER MUESTRAL	LSD	DECISIÓN
N	9		M1-M2	1,366	0,634	SIGNIFICATIVA
K	3		M1-M3	3,129	0,634	SIGNIFICATIVA
a/2	0,025		M2-M3	4,496	0,634	SIGNIFICATIVA
N-K	6					
t 0.025;6	2,447					
n	3					
Cme	0,101					

(c)

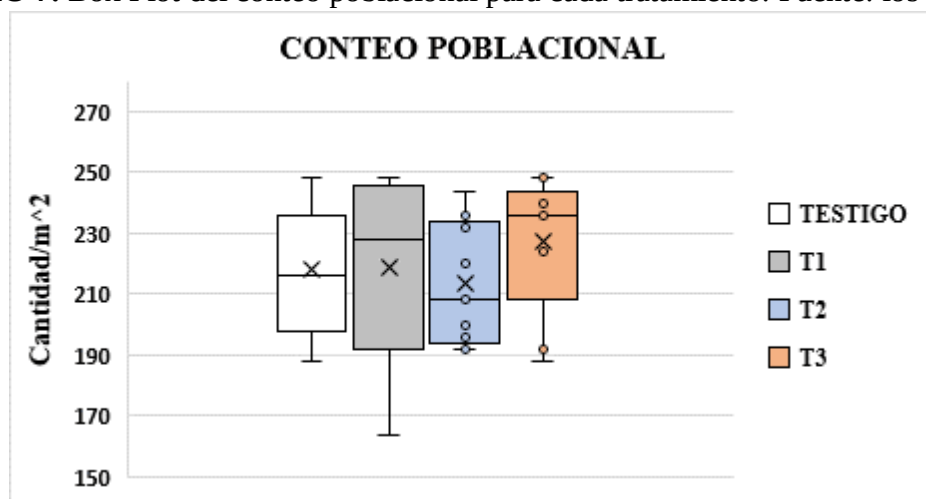
Anexo 6. (c) Análisis de un factor y Método LSD para el T2 entre Muestreos.
Fuente: Los autores.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR PARA EL T3 ENTRE MUESTREOS						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	96,511	32,17033333	0,014160111		
Columna 2	3	118,7046667	39,56822222	0,046945037		
Columna 3	3	102,6216667	34,20722222	0,012215259		
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL T3 ENTRE MUESTREOS						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	87,61799736	2	43,80899868	1792,502261	4,66451E-09	5,14325285
Dentro de los grupos	0,146640815	6	0,024440136			
Total	87,76463817	8				
Hipótesis		Se rechaza la hipótesis alternativa				
SIGNIFICATIVA		Se acepta la hipótesis Nula				
MÉTODO LSD PARA EL T3 ENTRE MUESTREOS						
Confianza	0,05		HIPÓTESIS	DIFER MUESTRAL	LSD	DECISIÓN
N	9		M1-M2	7,398	0,312	SIGNIFICATIVA
K	3		M1-M3	2,037	0,312	SIGNIFICATIVA
a/2	0,025		M2-M3	5,361	0,312	SIGNIFICATIVA
N-K	6					
t 0.025;6	2,447					
n	3					
Cme	0,024					

(d)

Anexo 6. (d) Análisis de un factor y Método LSD para el T3 entre Muestreos.
Fuente: Los autores.

ANEXO 7. Box Plot del conteo poblacional para cada tratamiento. Fuente: los autores.



Anexo 7. Diagrama de bigotes para el conteo poblacional a nivel espacial.

ANEXO 8. Tabla de promedios de cada tratamiento, desviación estándar y coeficiente de variación en las diferentes mediciones de macollas. Fuente: Los autores.

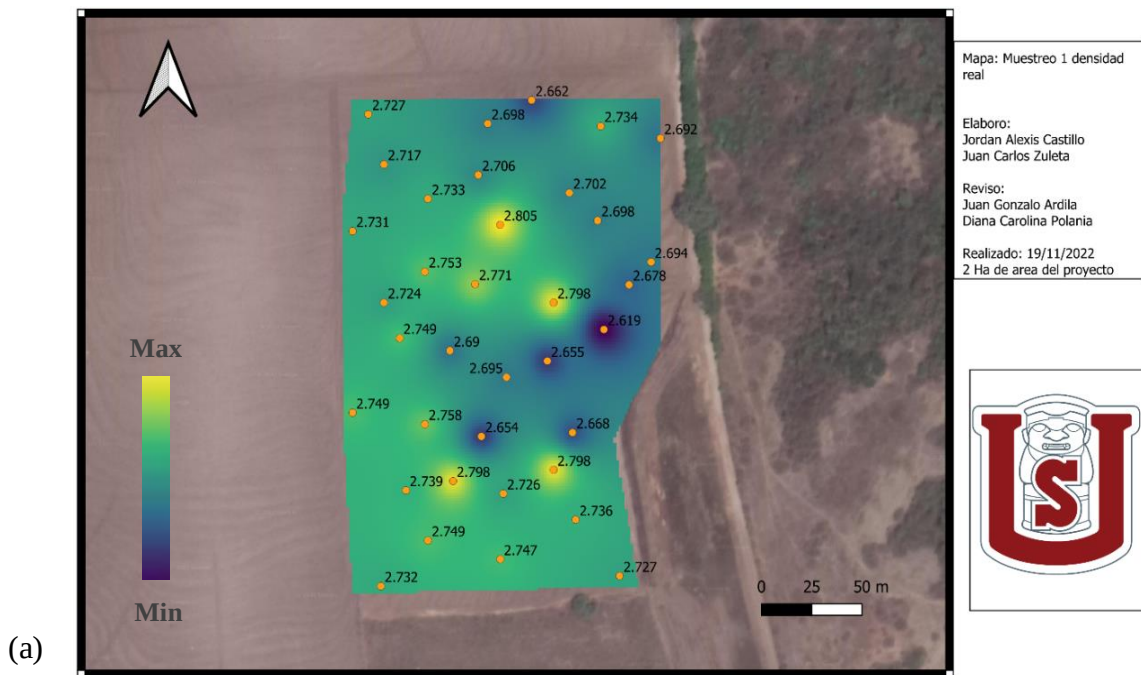
[gr/cm ³]		Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente Variación (%)
Macollas 1	Testigo	385,67	141,70	133,59
	T1	461,78	159,29	150,18
	T2	403,11	78,28	73,80
	T3	377,33	146,49	138,11
Macollas 2	Testigo	503,11	135,47	127,72
	T1	543,11	192,69	181,67
	T2	479,56	83,44	78,67
	T3	457,33	195,10	183,94
Macollas 3	Testigo	550,67	114,19	107,66
	T1	646,67	117,15	110,45
	T2	528,00	95,67	90,19
	T3	547,11	148,33	139,85

ANEXO 9. Costos de mecanización para cada uno de los tratamientos.

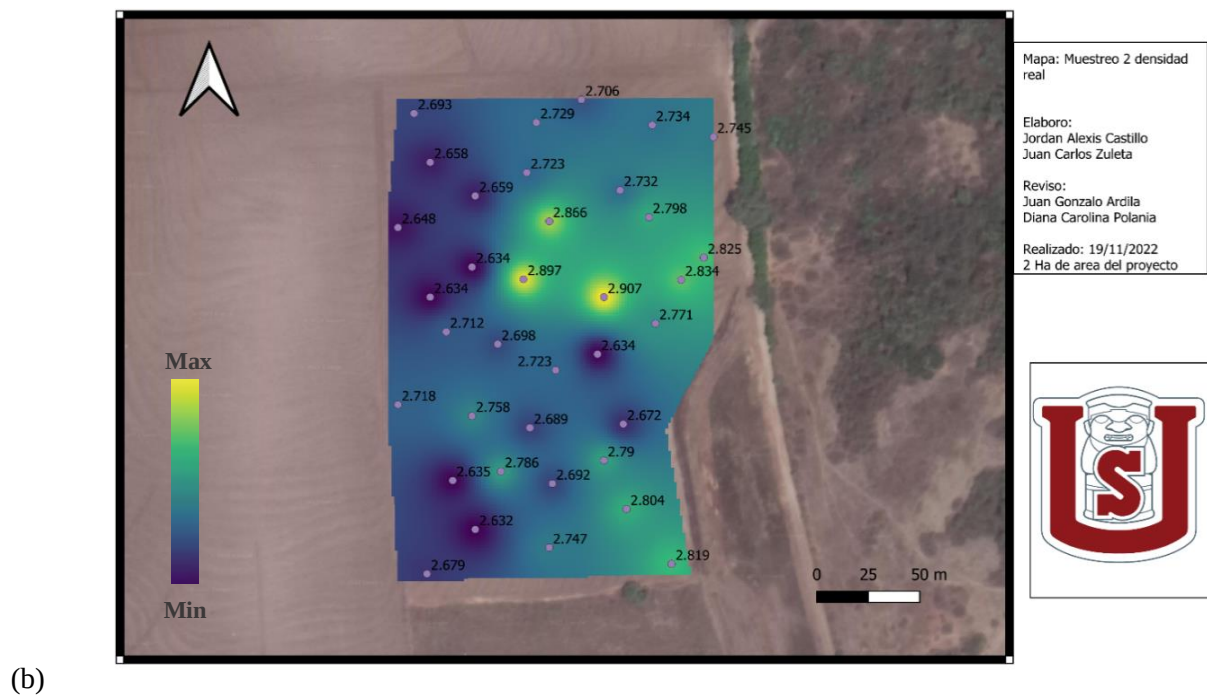
COSTOS DE LABRANZA												
Á	T	NP	LABRANZA	VEL	ANCHO	t	REND TEÓR	CAPAC EFECT	PI	POT REQUE	COSTO/Ha	COSTO OP
Ha	-	-	-	Km/h	m	h	Ha/h	Ha/h	Kg	Hp	\$	\$
0,5	T4	2	RASTRA	4,5	2,35	1,3	1,06	0,769	1200	70 – 85	\$290.000,00	\$290.000,00
0,5	T3	3	CINCEL	4,5	2,1	2,3	0,95	0,652	463	70 – 85	\$100.000,00	\$150.000,00
0,5	T2	2	CINCEL	4,5	2,1	1,45	0,95	0,690	463	70 – 85	\$100.000,00	\$100.000,00
0,5	T1	1	CINCEL	4,5	2,1	0,75	0,95	0,667	463	70 – 85	\$100.000,00	\$50.000,00

Donde: Área (A); Tratamiento (T); Número de Pasadas (NP); Velocidad de Trabajo (Vel); Ancho de trabajo (ANCHO); Tiempo efectivo (t); Rendimiento Teórico (REND TEÓR); Capacidad Efectiva (CAPAC EFECT); Peso Implemento (PI); Potencia Requerida (POT REQUE); Costo de Operación (COSTO OP).

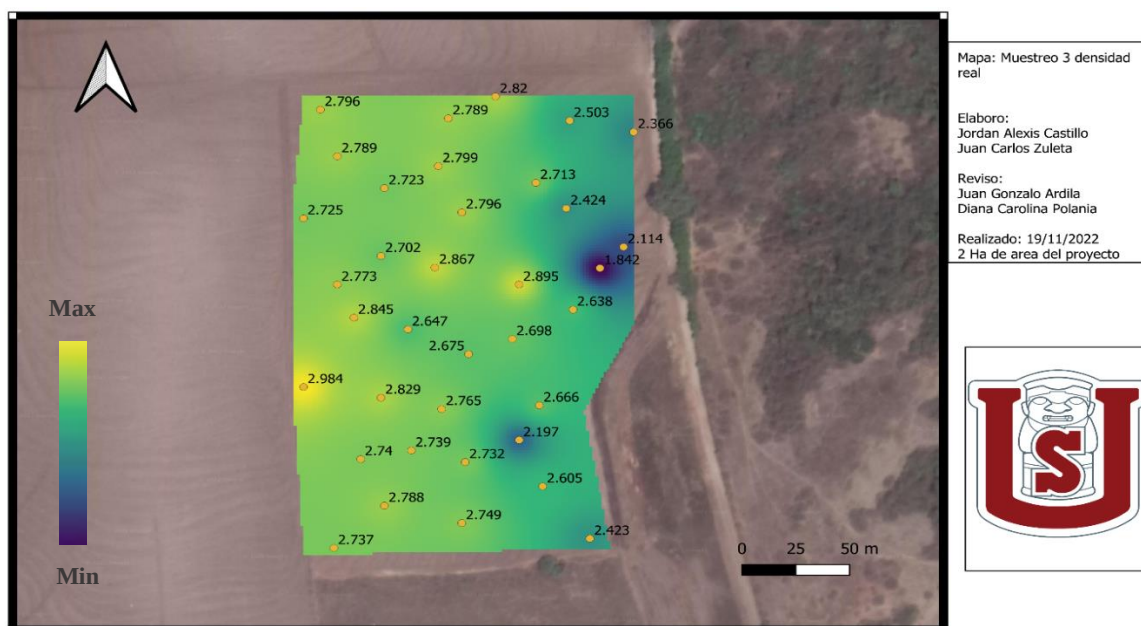
ANEXO 10. Mapas de propiedades físicas del suelo (para cada tratamiento) y de rendimiento.



Anexo 10 (a). Densidad real (gr/cm^3) del primero muestreo a nivel espacial.

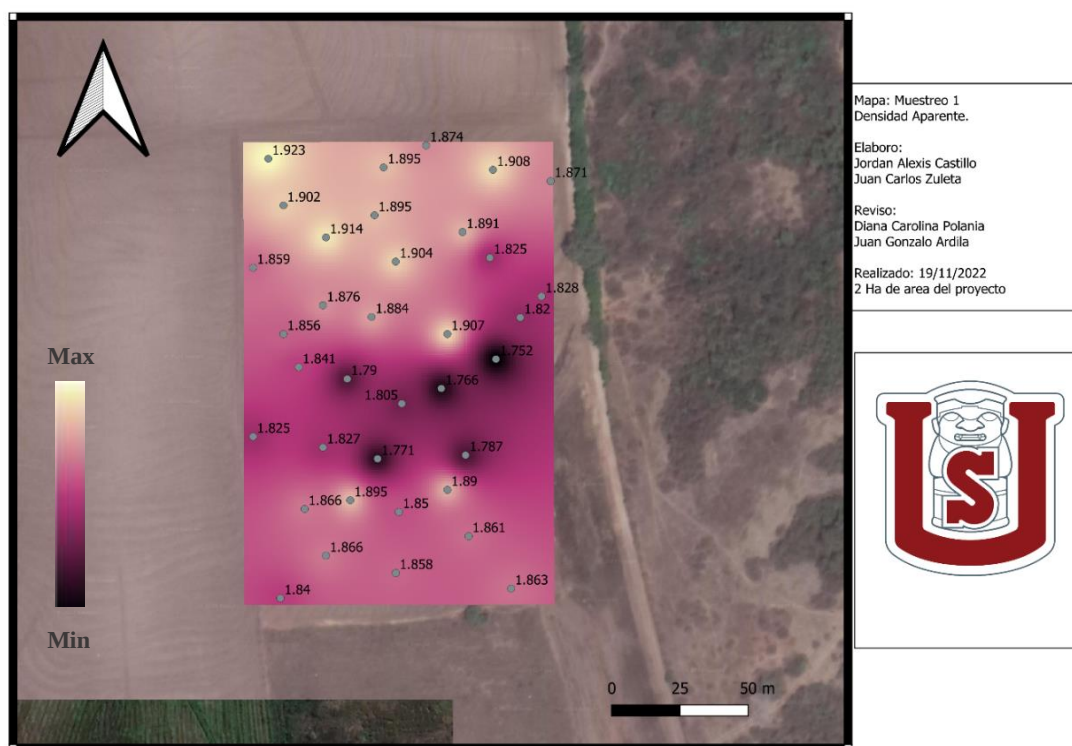


Anexo 10 (b). Densidad real (gr/cm^3) segundo muestreo a nivel espacial.



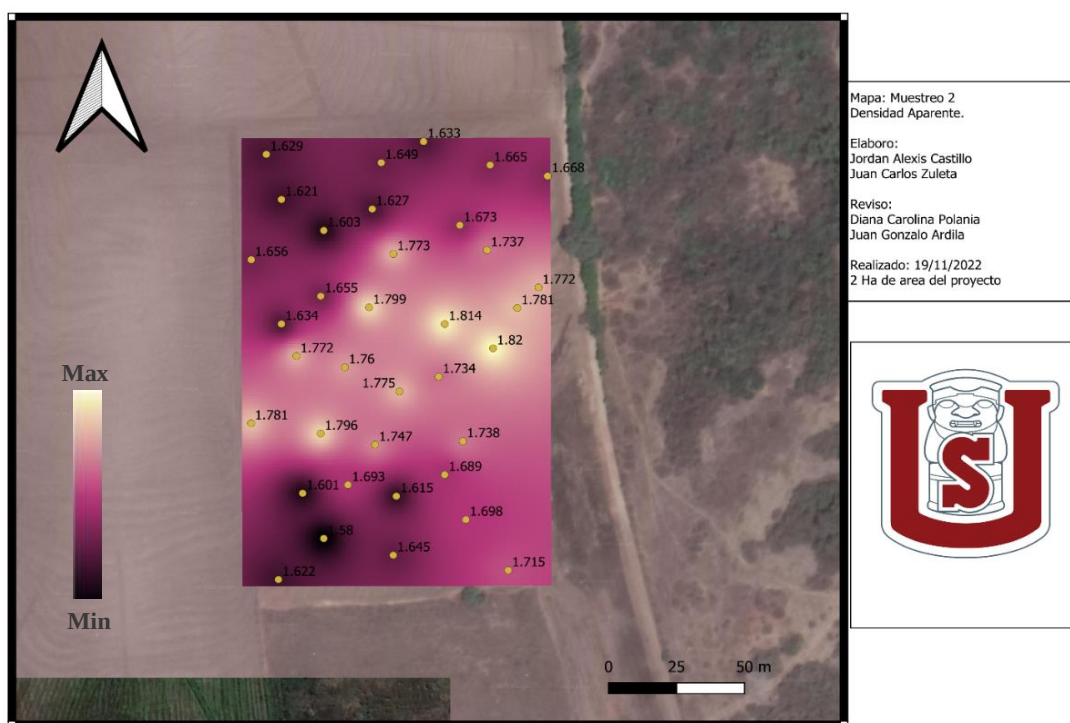
(c)

Anexo 10 (c). Densidad real (gr/cm^3) tercer muestreo a nivel espacial.



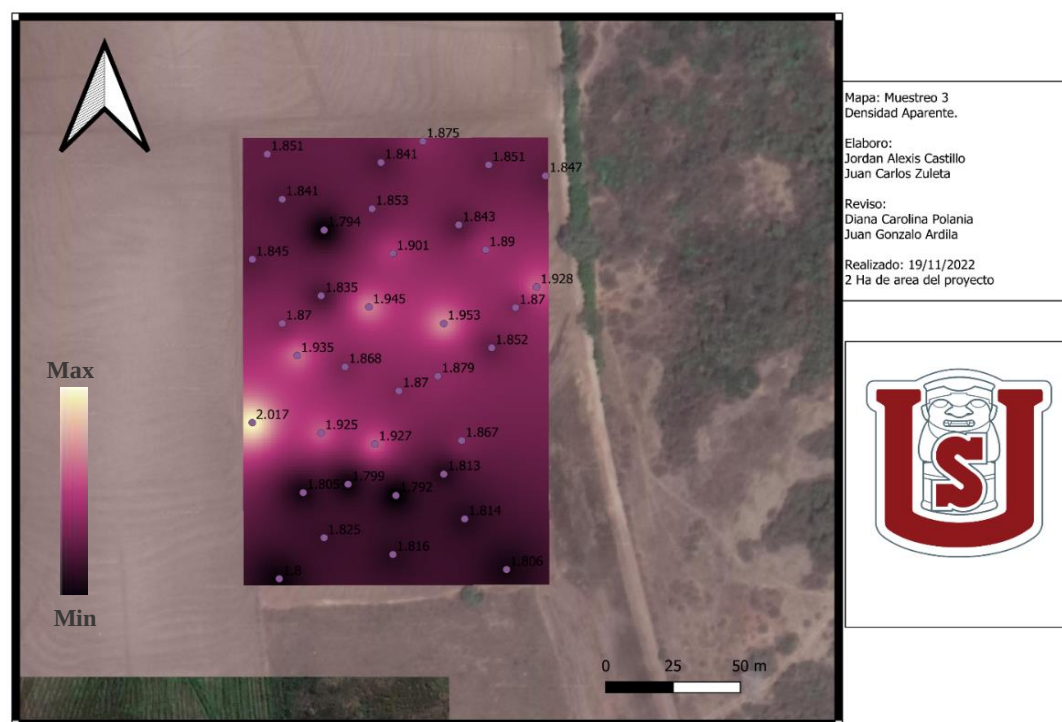
(d)

Anexo 10 (d). Densidad aparente (gr/cm^3) primer muestreo a nivel espacial.



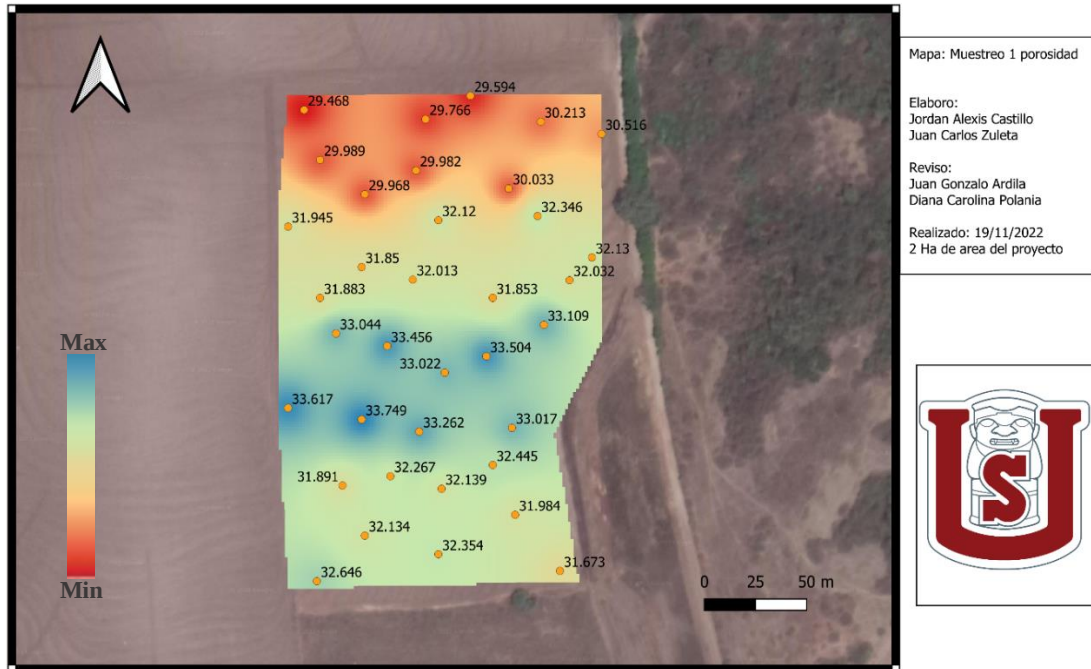
(e)

Anexo 10 (e). Densidad aparente (gr/cm^3) segundo muestreo a nivel espacial.



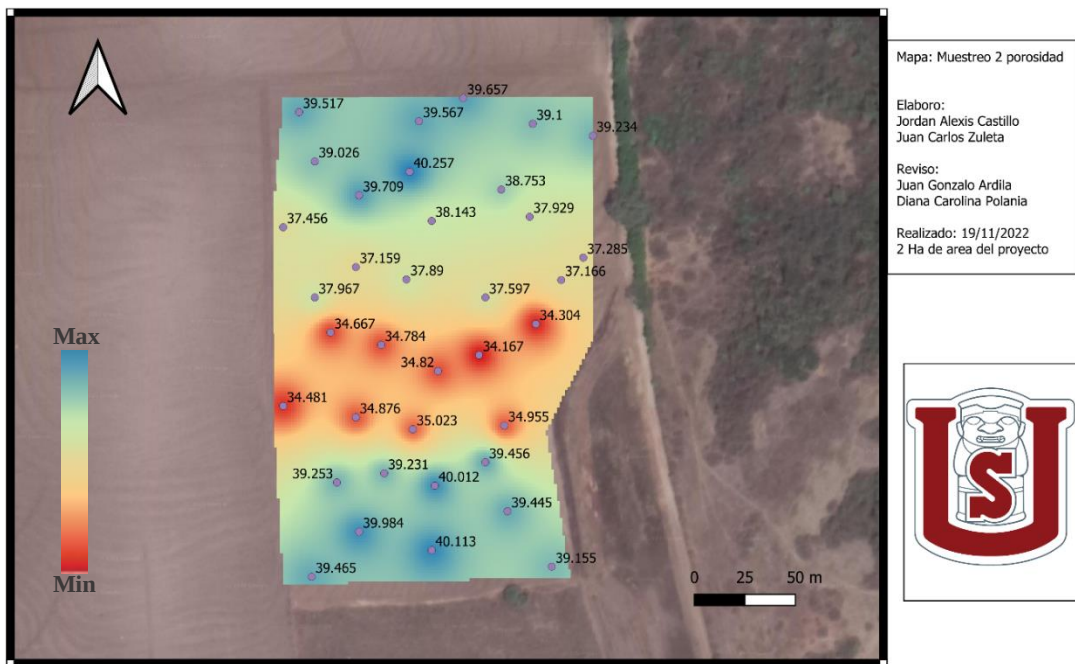
(f)

Anexo 10 (f). Densidad aparente (gr/cm^3) tercer muestreo a nivel espacial.



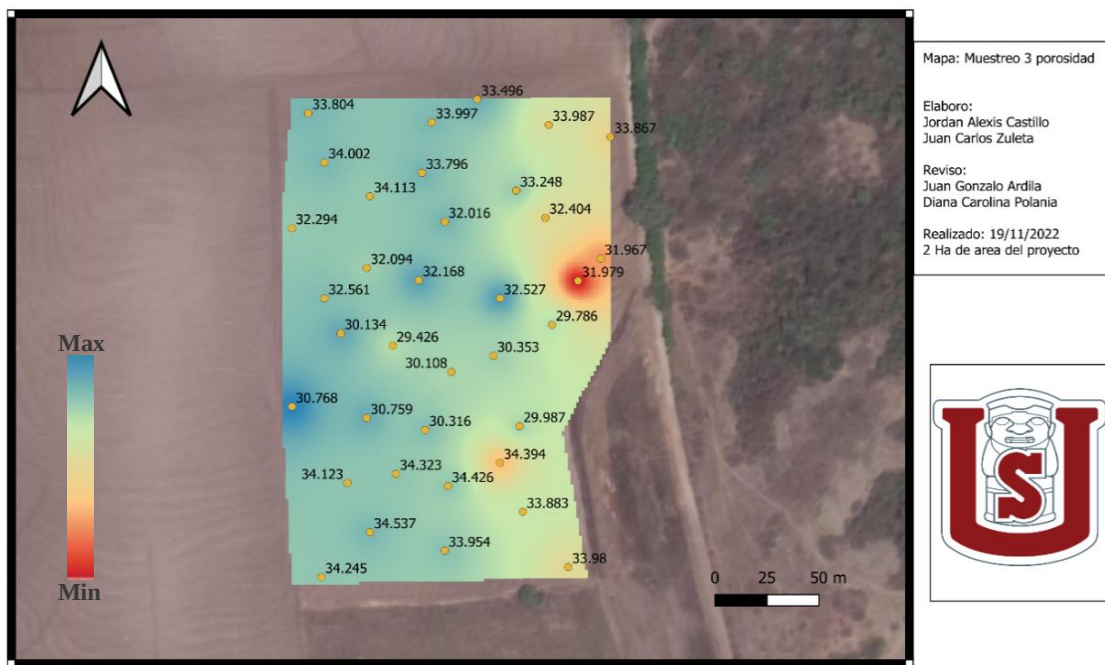
(g)

Anexo 10 (g). Porosidad (%) primer muestreo a nivel espacial.



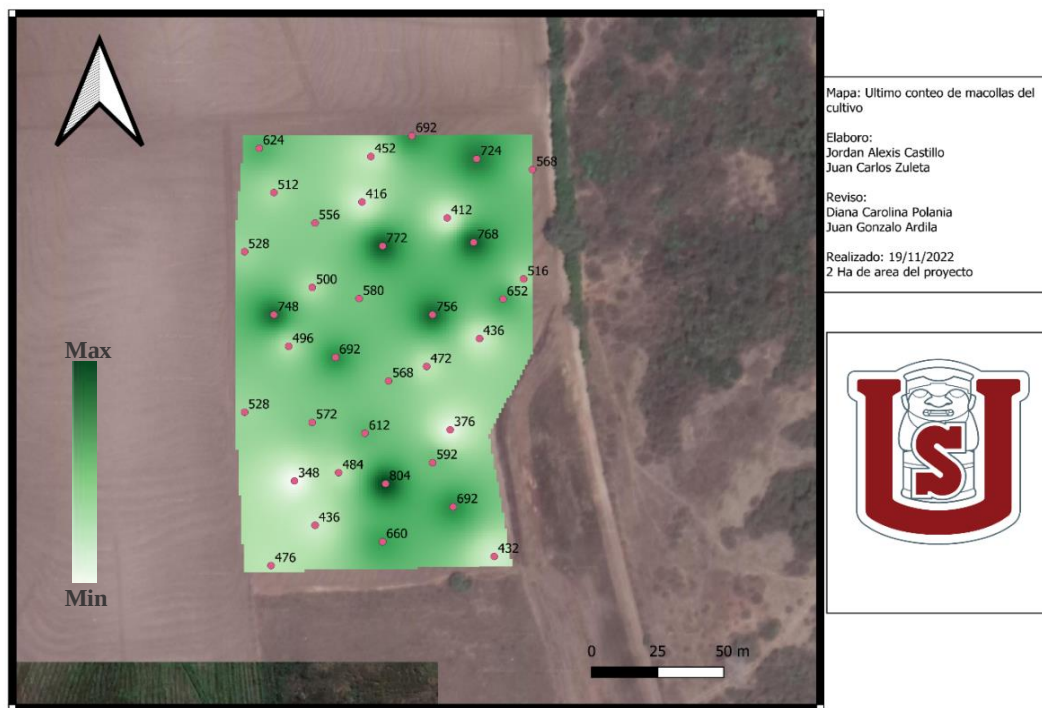
(h)

Anexo 10 (h). Porosidad (%) segundo muestreo a nivel espacial.



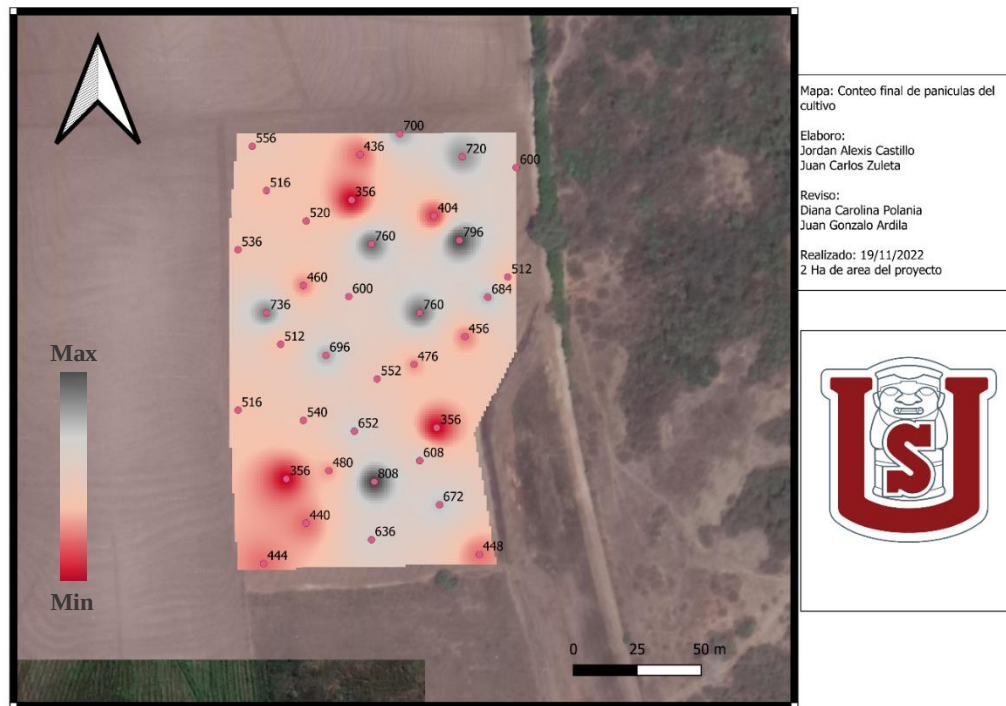
(i)

Anexo 10 (i). Porosidad (%) tercer muestreo a nivel espacial.



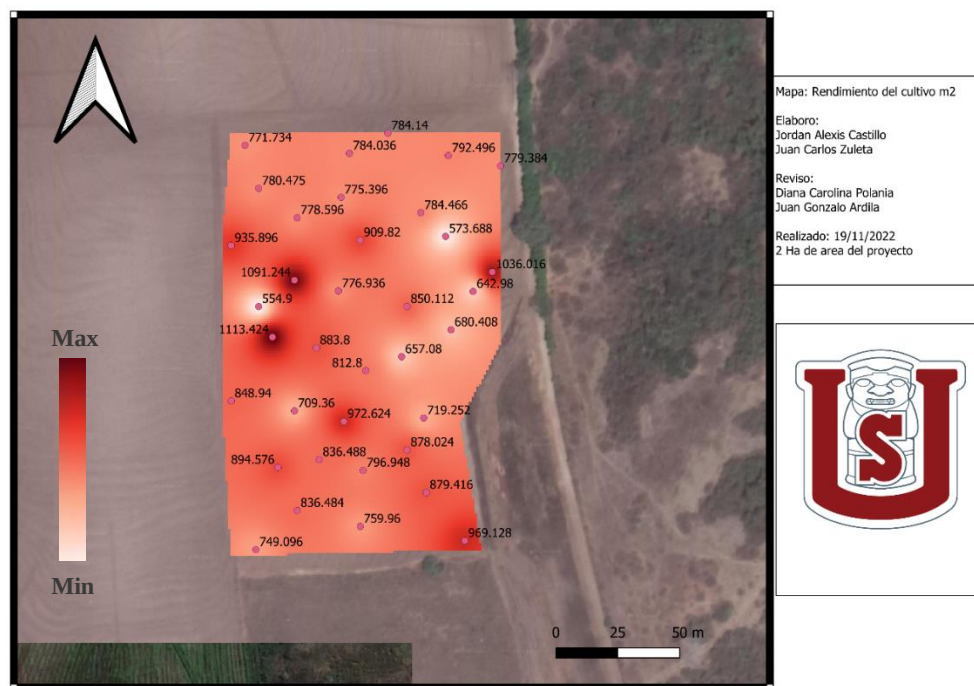
(j)

Anexo 10 (j). Conteo de macollas/m² a nivel espacial.



(k)

Anexo 10 (k). Conteo final de panículas (panículas/m²) a nivel espacial.



(l)

Anexo 10 (l). Rendimiento del cultivo (gr/m²) a nivel espacial.