

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL KEYLINE SOBRE LAS PROPIEDADES  
HIDROFÍSICAS DE UN SUELO OXISOL EN LA PRODUCCIÓN DE  
CANNAVALIA (*Cannavalia ensiformis* L.), EN EL MUNICIPIO DE  
VILLAVICENCIO, META.**

**JHON ANDERSON PRIETO GUEVARA**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
VILLAVICENCIO – META  
2020**

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL KEYLINE SOBRE LAS PROPIEDADES  
HIDROFÍSICAS DE UN SUELO OXISOL EN LA PRODUCCIÓN DE  
CANNAVALIA (*Cannavalia ensiformis* L.), EN EL MUNICIPIO DE  
VILLAVICENCIO, META.**

**JHON ANDERSON PRIETO GUEVARA**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Agrónomo**

**Director: MSc. Ing. Cristóbal Lugo López**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
VILLAVICENCIO – META  
2020**

**Notas de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Director: Cristóbal Lugo López**

---

**MSc. Ing. Agr. Sergio David Parra González**

**Jurado**

---

**Dr. MSc. Ing. Agr. Amanda Silva Parra**

**Jurado**

**Villavicencio, Febrero 05 de 2020**

**DEDICATORIA**

Este logro está dedicado a mi hermosa Madre, por su apoyo y amor incondicional,

A mi Madrina Elsy, por apoyarme en todo momento

A mi Compañera de camino Luisa, por ser la mujer que amo

A la madre tierra por enseñarme lo valioso e importante que es la vida, a la música y la literatura que sin ella no hubiera podido ser lo que soy.

A Eugenio Gras (Q.E.P.D.), que dedicó su vida a trabajar por mejorar la forma en cómo nos relacionamos con la naturaleza, motivo de ello está su amplia experiencia en la agricultura orgánica en México y el mundo, además de su obra literaria de la cual pude materializar mi tesis sobre el Keyline.

A Jairo Restrepo por su gran labor como comunicador de la agricultura orgánica por motivarme a creer y trabajar por crear un mundo nuevo, donde todos tengamos la oportunidad de aportar a la humanidad ese don que tenemos y por el cual estamos aquí.

A todos aquellos que le apuestan a realizar una agricultura sustentable para la vida de este planeta.

A todos los campesinos y campesinas que con su corazón y esfuerzo alimentan el mundo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre que siempre ha sido apoyo incondicional en mi formación personal y profesional, gracias a su sabiduría y su amor puro ha hecho de mí una persona comprometida con la vida.

A nuestra madre tierra por brindarnos su sabiduría en su actuar, a los campesinos que la trabajan día a día respetando y manteniendo el equilibrio natural, a los hombres y mujeres que desde las ciencias han visto una manera diferente de trabajar por la tierra, buscando siempre el beneficio mutuo entre los seres humanos y la naturaleza.

A mis colegas de carrera universitaria Esteban Reyes, Jorge Vargas, Alex Gómez, Daniel Osorio, Iván Barragán, Jhon Angarita, Bairon Robayo y Nelson García por todo lo compartido, lo aprendido, lo vivido y ser parte de esta hermosa etapa de mi vida y que nos unió para sumar esperanzas por una agricultura para todos.

A mis profesores por darnos lo mejor de ellos, en su experiencia y formación académica, a los compañeros con los que compartimos la vida universitaria, y en general a todos aquellos que, con sus ejemplos de vida e investigaciones enriquecen el saber de nuestro país y lo cultivaron para toda la humanidad.

Agradezco la oportunidad que se me permitió tener para llegar hasta aquí, en este hermoso camino que se llama VIDA.

## CONTENIDO

1.	RESUMEN .....	12
2.	ABSTRACT .....	14
3.	INTRODUCCIÓN .....	16
4.	OBJETIVOS.....	18
4.1	OBJETIVO GENERAL .....	18
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
5.	MARCO TEÓRICO.....	19
5.1	KEYLINE .....	19
5.1.1	DISEÑO KEYLINE .....	19
5.1.2	KEYLINE O LÍNEA CLAVE .....	20
5.1.3	KEYPOINT.....	20
5.1.4	ESCALA DE PERMANENCIA .....	21
5.1.5	RANURACIÓN .....	24
5.2	SUELOS DE LOS LLANOS ORIENTALES.....	25
5.2.1	SABANA ANTRÓPICAS.....	26
5.2.2	SABANAS ARTIFICIALES .....	27
5.2.3	VOCACIÓN DE USO DE LAS TIERRAS DE LA ORINOQUIA .....	27
5.3	CLIMA DE LOS LLANOS ORIENTALES .....	27
5.4	ESPECIE VEGETAL UTILIZADA .....	30
5.4.1	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA .....	30
5.4.2	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	30
6.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
6.1	DESCRIPCIÓN DEL LUGAR .....	32
6.2	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	32
6.3	TRATAMIENTOS .....	32
6.4	VARIABLES .....	33
6.4.1	DEPENDIENTES .....	33

6.4.2	INDEPENDIENTES.....	33
6.4.3	INTERVINIENTES .....	33
6.5.	HIPÓTESIS.....	34
6.5.1	HIPÓTESIS NULA (H0) .....	34
6.5.2	HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H1):.....	34
6.6	LEVANTAMIENTO ALTIMÉTRICO DEL TERRENO EXPERIMENTAL .....	34
6.7	VARIABLES DEL SUELO ANALIZADAS.....	34
6.8	ESTABLECIMIENTO EN CAMPO DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA .....	35
6.9	VARIABLES BIOMÉTRICAS .....	35
7.	RESULTADOS.....	37
8.	DISCUSIÓN.....	47
9.	CONCLUSIONES.....	65
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	67

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Escala de permanencia. ....	22
<b>Tabla 2.</b> Muestreo uno, variables físicas del suelo de las unidades experimentales para la caracterización de los tratamientos en la evaluación del keyline, en la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, entre 9 y el 18 de septiembre de 2019. ....	38
<b>Tabla 3.</b> Muestreo dos, de las variables físicas del suelo y de estabilidad de agregados de las unidades experimentales para la caracterización de los tratamientos en la evaluación del keyline, en la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, entre 9 y el 18 de diciembre de 2019. ....	40
<b>Tabla 4.</b> Muestreo tres, Datos biométricos de las platas de Cannavalia de las unidades experimentales para la caracterización de los tratamientos en la evaluación del keyline, en la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, entre 9 y el 18 de septiembre de 2019. ....	41
<b>Tabla 5.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la humedad gravimétrica del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos. ....	47
<b>Tabla 6.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la humedad volumétrica del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos. ....	49
<b>Tabla 7.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la densidad aparente del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos. ....	51
<b>Tabla 8.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la porosidad total del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos. ....	52



<b>Tabla 9.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para el porcentaje de saturación de agua del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.....	54
<b>Tabla 10.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la resistencia mecánica a la penetración del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.....	56
<b>Tabla 11.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para el diámetro medio ponderado del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.....	58
<b>Tabla 12.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para el diámetro de cuello de la canavalia respecto a los tratamientos establecidos en las unidades experimentales,, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos. .	60
<b>Tabla 13.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la altura de la canavalia respecto a los tratamientos establecidos en las unidades experimentales, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos. ....	62
<b>Tabla 14.</b> Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para el peso de materia seca de la canavalia respecto a los tratamientos establecidos en las unidades experimentales, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos. ..	64

## LISTA DE GRÁFICAS

<b>Gráfico 1.</b> Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de la humedad gravimétrica con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....	48
<b>Gráfico 2.</b> Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de la humedad volumétrica con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....	50
<b>Gráfico 3.</b> Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de la densidad aparente con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....	51
<b>Gráfico 4.</b> Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de porosidad total en (%) con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....	53
<b>Gráfico 5.</b> Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de saturación de agua en (%) con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....	55
<b>Gráfico 6.</b> Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de resistencia mecánica a la penetración en (MPa) con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....	57
<b>Gráfico 7.</b> Test de Tukey de medias de los datos del diámetro medio ponderado con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....	59
<b>Gráfico 8.</b> Test de Tukey de medias de los datos de diámetro de cuello de la canavalia con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....	61

**Gráfico 9.** Test de Tukey de medias de los datos de altura de la canavalia con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....62

**Gráfico 10.** Test de Tukey de medias de los datos de peso de materia seca de la canavalia con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona. ....63

## LISTA DE IMÁGENES

<b>Imagen 1.</b> Diseño hidrológico con el sistema de la línea Clave.....	20
<b>Imagen 2.</b> Línea Clave y Punto Clave en mapa de curvas a nivel. ....	21
<b>Imagen 3.</b> Apero de Yeomans.....	23
<b>Imagen 4.</b> Profundidad anual del apero Yeomans en suelos con problemas de compactación.....	24
<b>Imagen 5.</b> Apero cincel Yeomans.....	25
<b>Imagen 6.</b> Balance hídrico estación El Morro, Sabanalarga, Casanare. ....	28
<b>Imagen 7.</b> Problemas en suelos de los llanos orientales.....	29
<b>Imagen 8.</b> Mapa del levantamiento altimétrico del terreno experimental en la Unidad Rural de la universidad de los llanos, sede Barcelona. ....	37

## 1. Resumen

Este trabajo se realizó con el fin de comparar el sistema de labranza Keyline con el convencional y proponerlo para el manejo adecuado de suelos oxisoles, ya que responde a los problemas de orden físico, químico y biológico planteados por Amézquita (2007), donde la poca fertilidad, sellamiento superficial, degradación natural, baja retención de humedad y alta escorrentía presente, hace necesario desarrollar propuestas de labranza que incrementen su fertilidad (CORPOICA, CIAT, TSBF, 2007). En general la técnica requirió del levantamiento topográfico con estación total Topcon® CX-105, mapa con curvas a nivel del terreno con el software SAGA® versión 2.3.2, se identificó los puntos y líneas claves, y a partir de estos se trazó el patrón de labranza. Se utilizó un diseño experimental de Bloque Completamente al Azar (DBCA), con 4 tratamientos (rastra, keyline, cincel y Testigo), con 7 repeticiones. Los datos fueron tomados antes y después de la aplicación de los tratamientos para las propiedades físicas: densidad aparente, densidad real, porosidad total, resistencia mecánica a la penetrabilidad, contenidos de humedad gravimétrica y volumétrica, saturación de agua y estabilidad de agregados y variables fenológicas que se realizó al final del experimento tomando la altura de planta, número de hojas y peso de materia seca a los 60 DDS El análisis estadístico se realizó en el software estadístico SAS® versión 9.4, con un ANCOVA y test de Tukey-Kramer a un  $\alpha=0.05$ . Para comprobar el supuesto de normalidad se realizó verificó bajo diferentes test, como Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises y Anderson-Darling. Los resultados obtenidos solo fueron estadísticamente significativos para la porosidad total y el DMP. Es importante incluir la mayor cantidad de pruebas posibles en el proceso de toma de decisiones para la adecuación, debido a la alta variabilidad de las propiedades del suelo pueden verse afectadas significativamente. Los resultados esperados están íntimamente ligados a los sistemas de labranza por lo que se deben conocer sus propiedades para adecuar el suelo y lograr el desarrollo adecuado del cultivo. Los

modelos convencionales de labranza dejan de lado factores importantes al momento de definir la labranza. Para el keyline, la morfología del terreno, sus propiedades físico-bióticas y medioambientales son la línea base para establecer el patrón de labranza. Los sistemas de labranza tuvieron una influencia relevante en las propiedades hidrogeológicas del suelo, siendo las más significativas la porosidad total donde el testigo obtuvo 47,1795%, seguido del keyline 43,0372%, el cincel 42,078 y por último el rastra 40,3168%. Para valores de estabilidad de agregados, el mayor valor lo reportó el keyline con un DMP de 5,3013mm, rastra con 4,2635mm y último el cincel con 3,404mm. En cuanto a las características morfológicas del canavalia respecto a los sistemas de labranza, se puede decir que el mejor tratamiento fue el cincel con un acumulado de materia seca de 497gr, seguido del rastra con 488,71gr y último el keyline con 166gr. Esto indica que la adecuación del suelo con cincel vibratorio genera un mejor desempeño de la planta con respecto al keyline que utilizó el renovador de praderas, por su impacto en la falta de adaptación de la planta a zonas compactadas durante el primer ciclo del cultivo.

**Palabras clave:** Labranza vertical, conservación de suelos, cambio climático, agricultura regenerativa, llanos orientales, regeneración de suelos, adecuación de suelos agrícolas, diseño hidrológico del terreno, cosecha de aguas.

## 2. Abstract

This job was carried out in order to compare the Keyline tillage system with the conventional one and propose it for the proper handling of oxisol soils, since it responds to the physical, chemical and biological problems presented by Amézquita (2007), where the fertility, surface sealing, natural degradation, low moisture retention and high current runoff, it is necessary to develop tillage proposals that increase their fertility (CORPOICA, CIAT, TSBF, 2007). In general, the technique required the topographic survey with Topcon ® CX-105 total station, a map with curves at ground level with the SAGA® software version 2.3.2, the key points and lines were identified, and from these the pattern was drawn Tillage An experimental design of Completely Random Block (DBCA) was used, with 4 treatments (dredge, keyline, chisel and Witness), with 7 repetitions. The data were taken before and after the application of treatments for physical properties: apparent density, real density, total porosity, mechanical resistance to penetrability, gravimetric and volumetric moisture contents, water saturation and stability of aggregates and phenological variables. which was performed at the end of the experiment taking the plant height, number of leaves and weight of dry matter at 60 DDS. The statistical analysis was performed in the SAS® statistical software version 9.4, with an ANCOVA and Tukey-Kramer test at an  $\alpha = 0.05$ . To verify the assumption of normality, it was verified under different tests, such as Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises and Anderson-Darling. The results obtained were only statistically significant for the total porosity and the DMP. It is important to include as many tests as possible in the decision-making process for adequacy, due to the high variability of soil properties they can be significantly affected. The expected results are closely linked to tillage systems, so their properties must be known to adapt to the soil and achieve the proper development of the crop. Conventional tillage models set aside important factors when defining tillage. For the keyline, the morphology of the land, its physical-biotic and environmental properties are the baseline for establishing the tillage

pattern. Tillage systems had a relevant influence on the soil's hydrogeological properties, the most significant being the total porosity where the control obtained 47.1795%, followed by the keyline 43.0372%, the chisel 42.078 and finally the harrow 40.3168 %. For aggregate stability values, the highest value was reported by the keyline with a DMP of 5.3013mm, drag with 4.2635mm and finally the chisel with 3.404mm. Regarding the morphological characteristics of the Canavalia with respect to tillage systems, it can be said that the best treatment was the chisel with an accumulated dry matter of 497gr, followed by the harrow with 488.71gr and lastly the keyline with 166gr. This indicates that the adaptation of the soil with vibrating chisel generates a better performance of the plant with respect to the keyline used by the prairie renovator, due to its impact on the lack of adaptation of the plant to compacted areas during the first crop cycle.

**Keywords:** Vertical tillage, soil conservation, climate change, regenerative agriculture, eastern plains, soil regeneration, an adaptation of agricultural soils, hydrological design of the land, water harvesting.



### 3. Introducción

En los últimos años se ha considerado a la región de la Orinoquía como la última frontera agrícola del país, debido a su potencial agropecuario atribuido a sus sabanas, teniendo en cuenta que estas necesitan de un uso y manejo que se ajusten a las condiciones naturales del suelo, que detenga la tasa de degradación de éste e impidan el deterioro de los recursos naturales y propicien el desarrollo de sistemas agrícolas y pecuarios sostenibles (Rippstein, Amézquita, Escobar, & Grolier, 1999). Para poder darle un uso intensivo a los suelos de la Orinoquia es necesario conocer sus principales limitantes como lo es el clima húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC (low activity clay), mal drenaje y erosión actual severa (Jaramillo, 2002).

De acuerdo con lo expresado por Hernández y Sánchez (1992), citado en (Ossa, Trujillo, & De la Ossa, 2016), Los suelos de las sabanas son pobres en materia orgánica, lixiviados y ricos en óxidos de hierro y aluminio, como factor tóxico limitante para la vegetación. La circulación normal interna del agua dentro del suelo es impedida por la presencia de corazas de plintita o de horizontes arcillosos impermeabilizantes. Se debe contar con estrategias adecuadas para nuestros suelos, ya que después de la utilización de estas áreas de monocultivo por algunos años los suelos se tornan poco productivos, como resultado de la alta susceptibilidad a la degradación (Amézquita, D, Chávez, & Ricaurte, 2000).

Tal como lo plantean Quiroga y Furano (2006) citado en (Novillo, y otros, 2018), la materia orgánica interviene directamente en las propiedades del suelo, como estructura, disponibilidad de carbono y nitrógeno, siendo ésta la más deteriorada en la explotación agrícola. En síntesis, los suelos de la altillanura orinoquense representan los de mayor grado evolutivo en el país y están dominados por la tipología de los diferentes Oxisoles (Haplustox, 19.6% y Hapludox, 14.5%) y, en mucha menor proporción, de los Ultisoles (Kandiudults, 1.7%, Hapludults, 0.9%,

Endoaquults, 0.8% y Paleodults, 0.6%) (Malagón, 2003).

A pesar de los estudios realizados para el manejo adecuado de los suelos en la altillanura la degradación va en aumento, los rendimientos en cultivos como el maíz no han superado los 6.5 ton/ha en el mejor de los casos y bajo tecnología de rotación de cultivos a tres años con altos costos de producción. Es posible que los pequeños productores queden relegados de estas prácticas o se vean perjudicados económicamente al no contar con una tecnología adecuada.

El presente trabajo pretende plantear una tecnología adecuada para solucionar los problemas de orden físico, químico y biológico presentes en los suelos Oxisoles de la altillanura bajo la tecnología del Keyline, con el fin de divulgar los resultados y proponerlo como sistema de labranza y de gestión integral de las granjas que incremente la productividad y se vean beneficiados los productores de la región con el diseño hidrológico del terreno bajo el sistema Keyline aprovechando el agua lluvia, el amortiguamiento de los procesos erosivos, el aumento de la materia orgánica y aumentando los rendimientos de los cultivos.

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo general

Evaluar el impacto del Keyline sobre las propiedades hidrofísicas de un suelo Oxisol en la producción de Cannavalia (*Cannavalia* sp.), en el municipio de Villavicencio, Meta.

### 4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físicas e hidrogeológicas del suelo en el área de estudio.
- Diseñar y establecer los sistemas de labranza para un suelo Oxisol típico del municipio de Villavicencio.
- Determinar los cambios en algunos parámetros hidrogeológicos en un suelo Oxisol típico en función de los diferentes sistemas de labranza.
- Establecer la diferencia entre los sistemas de labranza y su influencia en la fenología y acumulación de materia seca en el cultivo de Cannavalia (*Cannavalia* sp.).

## **5. Marco teórico**

### **5.1 Keyline**

Desde los años 1950 y 1970, el granjero, ingeniero y escritor P.A. Yeomans desarrolló un sistema que integra métodos para el análisis del paisaje con la gestión del agua en toda la granja, la agroforestería, las estrategias de construcción del suelo (mediante cincel ligeramente fuera del contorno de la labranza y pastoreo rotacional), con el desarrollo de los nuevos diseños de arado de cincel para su uso en el sistema (Yeomans, 1954) (Yeomans, 1958). Esquema del sistema de Yeomans ha recibido muy poca atención en la literatura científica. La planificación Keyline es, sin embargo, una innovadora aplicación de diseño de paisajes agrícolas y dio forma al enfoque adoptado por Holmgren y Mollison en la permacultura (Sass & Taylor, 2013).

#### **5.1.1 Diseño Keyline**

Consiste en una serie de principios, técnicas y sistemas que se utilizan para coordinar un plan de desarrollo rural o urbano, que redunde en la regeneración y embellecimiento de las tierras y el paisaje. Caminos, franjas de árboles en curvas a nivel, construcciones, potreros, cercas, subdivisiones, canales de desviación y/o infiltración del agua, represa o reservorios de agua, cultivos, huertas y praderas para el pastoreo, encajan con todo un sentido lógico dentro de la planeación (Gras, 2010).

Tal como lo plantea Yeomans (1954), es un sistema que abarca un desarrollo progresivo del perfil del suelo para cultivos, pastos y animales, tanto en tierras planas como en tierras empinadas y ásperas, capaz de generar solución a sus condiciones de manera rápida y económica. Por lo que su objetivo principal es el desarrollo de una mejor estructura del suelo, fertilidad y profundidad real, donde se incluyen un modelo de planificación de la granja y además se ponen en práctica

nuevas técnicas de cultivo; de subdivisión y la conservación del agua para riego. El primer objetivo de Keyline es proporcionar medios simples para conservar toda la lluvia que cae sobre la tierra, retarda su evaporación, almacenarla y distribuirla de forma rápida y eficiente en el suelo, tanto en áreas de tierra pequeñas y grandes.

**Imagen 1.** *Diseño hidrológico con el sistema de la línea Clave.*



Fuente: Tomado de (Collins & Doherty, 2008).

### **5.1.2 Keyline o Línea Clave**

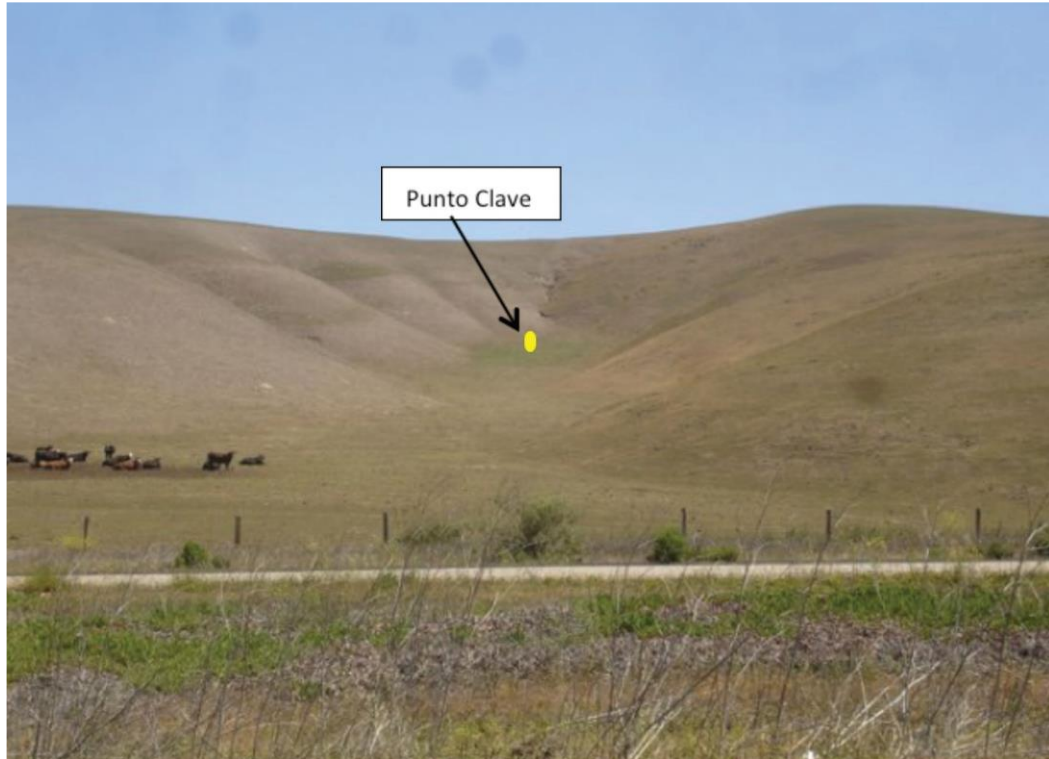
Es la línea a nivel o contorno que se extiende a ambos lados de un punto clave (justo a la misma elevación sobre el nivel del mar). Esta línea imaginaria se traza para la realización de reservorios, canales de infiltración-conducción y canales de riego según las necesidades del lugar y los recursos disponibles (Gras, 2010).

### **5.1.3 Keypoint**

Las vertientes encausan la salida de agua de tal manera, que termina confluyendo a un espacio muy pequeño como de un metro cuadrado, a este punto se le llama Keypoint o Punto Clave el cual es el punto de partida de un cauce de agua. Dicho de otra forma, entre dos laderas y sitios elevados, el agua siempre confluye en un punto preciso de la vertiente justo antes de empezar a correr como arroyo, a este punto se le llama Punto Clave en vertientes. A partir de estos puntos

clave se trazan los canales, reservorios, patrón de labranza que van a conformar el sistema (Gras, 2010).

**Imagen 2.** Línea Clave y Punto Clave en mapa de curvas a nivel.



Fuente: Tomado de (IMTA, 2013).

#### **5.1.4 Escala de permanencia**

Es un concepto desarrollado por P.A. Yeomans sirve para determinar la escala de prioridades al momento de rediseñar la topografía de un terreno, una granja o una ciudad. Está ordenada con base a la permanencia (a través del tiempo) de los elementos que integran el paisaje completo de la propiedad, y se aplica tanto al desarrollo rural de unidades productivas, la conservación del agroecosistema y al desarrollo urbano para la planeación de pueblos o ciudades enteras. El orden de prioridades como se observa en la tabla 1, para los factores en la escala de permanencia son: 1. Clima, 2. Topografía, 3. Agua, 4. Caminos, 5. Árboles, 6. Construcciones, 7. Subdivisiones, 8. La tierra (Gras, 2010) (Yeomans, 1954). Al desarrollar este sistema se ha logrado manejar las condiciones naturales llegando a volver a hacer rentable a la agricultura, ganadería, silvicultura y acuicultura en

suelo deteriorados transformados a partir de este sistema.

**Tabla 1.** Escala de permanencia.

Escala de permanencia	
1. Clima	Conocer el régimen de lluvias y de sequía
2. Topografía	Reconocer las geoformas del terreno
3. Agua	Los volúmenes de agua disponibles y necesarios
4. Caminos	Distribución en la granja
5. Árboles	Posición estratégica contra vientos, sol, agua y microclima
6. Construcciones	Ubicación estratégica
7. Subdivisiones	Zonificación de la granja
8. Suelo	Características

*Fuente:* Tomado de (Gras, 2010).

Con el fin de planificar el desarrollo y la gestión integral de la tierra y los muchos factores que están involucrados, se deben relacionar en algún orden lógico. Por lo que la planificación de un aspecto atraviesa otros, así que algunos deben tener preferencia. Deben tomarse decisiones sobre todo tipo de elementos agrícolas de planificación de la tierra que beneficien sus propiedades, el cual desarrollo su propio implemento para lograrlo, como se aprecia en la imagen 3. Nosotros necesitamos, además, tener un objetivo, un plan básico. Si algo se va a planificar y construir, se necesita una base. Si tiene una base, entonces debe ser permanente. Las decisiones sobre cualquier aspecto de la planificación tienen una importancia relativa que se relaciona con la permanencia de efecto de esa decisión.

La escala de permanencia del Keyline o "La escala del Keyline de la relativa permanencia de las cosas agrícolas ", es un desarrollado para el propósitos de proporcionar una guía para cada tipo de decisión que debe tomarse en cualquier

aspecto de la planificación general en el desarrollo y manejo de tierras agrícolas (Yeomans, 1958).

**Imagen 3.** Apero de Yeomans.

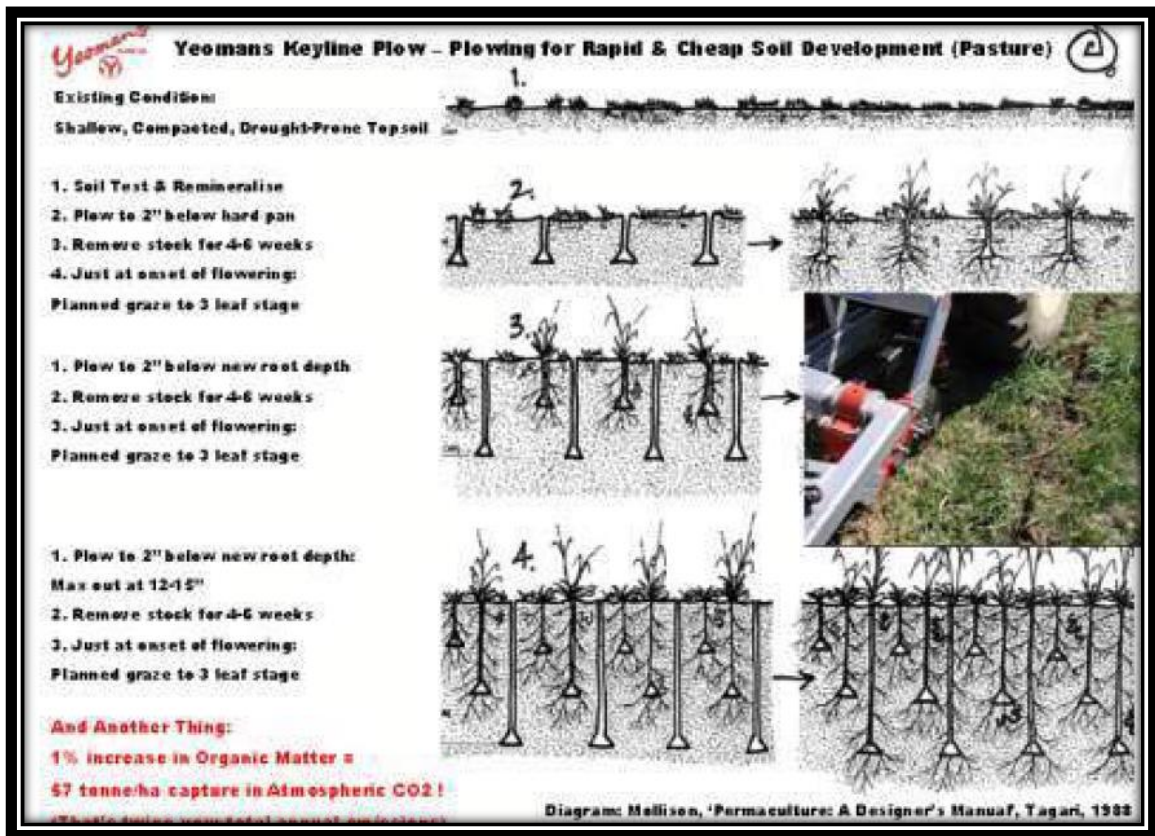


Fuente: Tomado de (Gordon, 2016)

El método del sistema de la línea clave está basado en condiciones topográficas e hidrológicas en función del estado del suelo, estableciendo un sistema de labranza que mejore sus condiciones deficientes o aumente su productividad. La labranza con el apero de Yeomans en suelos con problemas de capas endurecidas, se realiza arando verticalmente 10, 20, 30 y 40 cm, cada año con el fin de crear vida microbiológica, desarrollo de raíces de plantas de gran sistema radicular y espacio poroso, ver imagen 4. Cada año se corre el sitio de arado 20 cm para asegurar un buen arado de casi todo el terreno durante los tres años para obtener excelentes resultados (Collins & Doherty, 2008).



**Imagen 4.** Profundidad anual del apero Yeomans en suelos con problemas de compactación.



Fuente 1: Tomado de **(Collins & Doherty, 2008)**.

La técnica de Yeomans se basa en observaciones del terreno y ver como se mueve el agua por el suelo para hacer pequeñas modificaciones del suelo para la construcción de ciertas estructuras que servirán para captar, conducir e infiltrarla en los lugares donde se necesita.

### 5.1.5 Ranuración

El arado de Yeomans, autor de la metodología, decidió diseñar su propio implemento. El arado Yeomans consiste en un brazo o timón de acero altamente resistente, que se adhiere a un cuadro o barra portaherramientas tradicional, el cual se conecta a tres puntos de tracción del tractor. Al ranurar el suelo compactado se aumenta la infiltración lo cual reduce considerablemente el agua de escorrentía y la erosión de su capa orgánica. (Gras, 2010).

**Imagen 5.** *Apero cincel Yeomans.*



Fuente: Tomado de (IMTA, 2013).

## **5.2 Suelos de los llanos Orientales**

Se desarrollaron a partir de un manto de sedimentos aluviales arcillo-limosos provenientes de la cordillera oriental, con altos contenidos de óxidos de Fe y Al en las capas de las cuencas de sedimentación debido a la continua lixiviación de minerales que provocan la gran acidez del suelo. Por lo general la altillanura es más arenosa y la serranía más arcillosa, con baja fertilidad, C/N 15-20, M.O. mal descompuesta, pH 4.5-5 (CORPOICA, CIAT, TSBF, 2007).

Estos suelos de la Orinoquia se originaron a partir de los materiales parentales: rocas sedimentarias clásticas de grano fino que dieron origen a suelos Hapludox y Dystrudepts que cuentan con 766.000 ha y 30.869 ha respectivamente, también posee suelos profundo a moderados, bien o moderadamente drenados, fertilidad natural baja, depósitos superficiales de Limos y Arcillas eólicas. Estos dieron origen a suelos Hapludox, Quartzipsamments, Dystrudepts, Udypsamments, Kan hapludults y Hapludults con alrededor de 383.499 ha (IGAC, 2016).

Debido a choque de fuerzas tectónicas trayendo consigo sedimentación, erosión y cambios climáticos drásticos en la cordillera oriental hace 140 millones de años en el cretácico inferior, y los sedimentos rellenaron las depresiones y originaron las planicies al igual que la deposición de arenas litorales del escudo guayanés que generó ciertas características en los suelos como: Sellamiento superficial, encostramiento superficial, alta densidad aparente, endurecimiento del suelo en época seca, compactación, baja velocidad de infiltración, baja estabilidad estructural, deficiente distribución de los poros según su tamaño, deficiente continuidad del espacio poroso, poco espesor del horizonte A, alta susceptibilidad a la erosión y alta producción de escorrentía (Amézquita E. , 1998).

Reconociendo estas características planteadas por (Amézquita E. , 1997) presentes en los suelos de la altillanura se debe desarrollar un adecuado sistema de labranza sostenible y lo investigado por el (CIAT, CIRAT, 2001) es fundamental saber:

Entender los procesos de degradación de los suelos en función del tiempo, del tipo y sistema de manejo que reciben:

- 1) Determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que sufren más efecto por las prácticas de manejo y establecer los valores críticos de dichas propiedades para varios cultivos.
- 2) Desarrollar metodologías de campo y laboratorio que permitieran evaluar con criterio realistas las condiciones del suelo que limitan el buen desarrollo de los cultivos.
- 3) Diseñar prácticas de manejo de suelos que preserven la sostenibilidad de este recurso y contrarresten los procesos que llevan a su degradación (Rippstein, Amézquita, Escobar, & Grolier, 1999).

### **5.2.1 Sabana antrópicas**

Se desarrollan bajo una influencia profunda continua o regularmente repetida (tala, fuego constante, pastoreo intensivo). Ni la flora ni el ecosistema son propios del ecotopo, aunque ambos tienen continuidad sucesional (por el proceso de la degradación) con la flora y el ecosistema originales (sabanas arcillosas y aluviales)

(Ossa, Trujillo, & De la Ossa, 2016).

### **5.2.2 Sabanas artificiales**

Formadas por la actividad humana después de la destrucción completa de la flora y vegetación originales y de las sabanas antrópicas. En este caso la flora y el ecosistema son igualmente ajenos al ecotopo y no tienen continuidad sucesional (por la degradación completa) con la flora ni con el ecosistema originales (pastos introducidos como el *Brachiarias*, entre otros) (Ossa, Trujillo, & De la Ossa, 2016).

### **5.2.3 Vocación de uso de las tierras de la Orinoquia**

La región posee una vocación para la producción Silvoagrícola del 50%, Agrosilvopastoril del 60% y Silvopastoril del 55%. Para ganadería hay establecidas 10'225.526 ha que representan el 49.9% de la Orinoquia. El potencial forestal es de 12.8% y para la conservación de tierras es de 4.1%. La vocación agrícola representada por 22'493.538 ha (18,9%), la Silvoagrícola 11'095.111 h (%) y la ganadería con 14'223.774 ha (12,5%) del cual este representa el 60% de la ganadería extensiva en la Orinoquia (CIAT, CIRAT, 2001).

### **5.3 Clima de los Llanos Orientales**

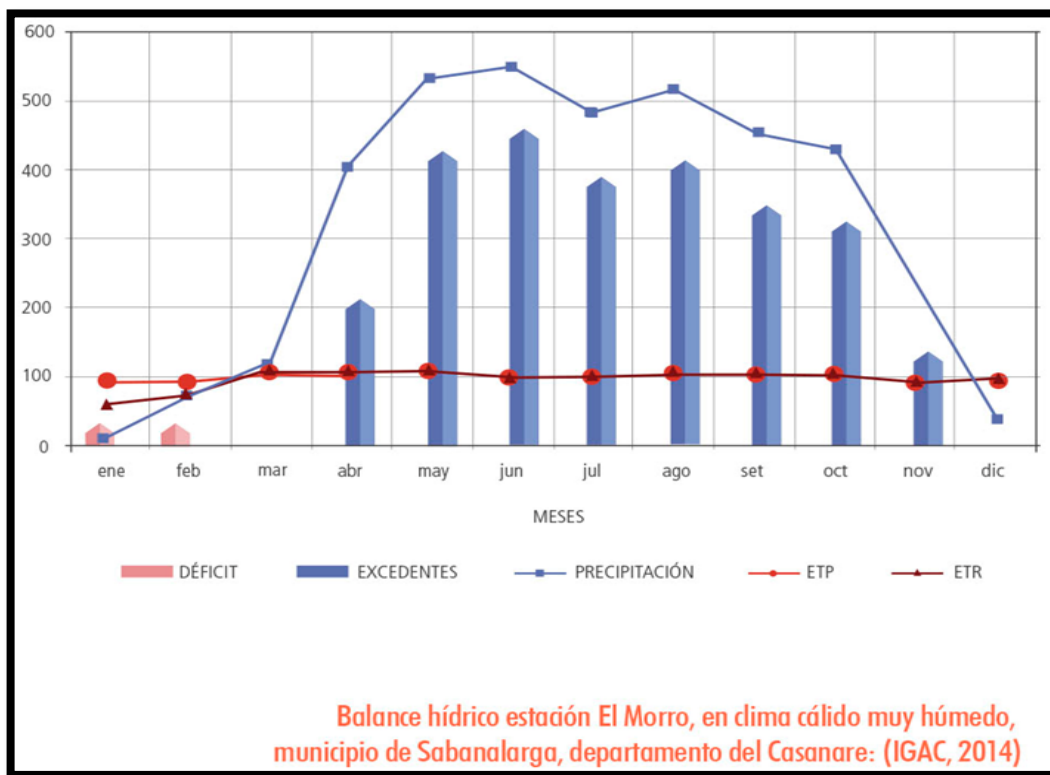
La región está ubicada entre la Latitud 2°-5° N y Altitud de 100 a 300 msnm, el viento está en todas las direcciones excepto al oeste. El clima está definido por los vientos y las lluvias en cuanto a su régimen térmico (INSTITUTO HUMBOLDT, 2013). El patrón de lluvias es diferencial con dirección de los Andes al este. En el piedemonte llueve más de 3000 cc y en el centro de los llanos solo llueve 2200cc al año. La región presenta las siguientes características climáticas según Sarmiento (1990):

- Época de lluvia durante 8 meses (abril a noviembre), esto equivale al 95% de la lluvia anual.
- Época de sequía durante 4 meses (diciembre a marzo), el mes de enero está bajo la influencia de vientos alisios que vienen del Sureste hacia el Noroeste.

- La temperatura es de 27°C, Isohipertermica y con una variación entre 5°y 6°C.
- La Humedad Relativa está por encima del 80% cuando es invierno y en verano está por encima del 60%.
- La Evaporación en la sabana es más de 200 mm y 100 mm en piedemonte.

En la región de la Orinoquia se cuenta con un clima monomodal con lluvias entre marzo-noviembre y sequía diciembre-febrero , ver imagen 6, con una precipitación anual de 2000-3800 mm es una región de sabana tropical húmeda y muy húmeda, una temperatura media anual de 27°C, velocidad de los vientos de 6 km/día y humedad relativa de 60-90% (IDEAM, 2015) (IGAC, 2016).

**Imagen 6.** Balance hídrico estación El Morro, Sabanalarga, Casanare.



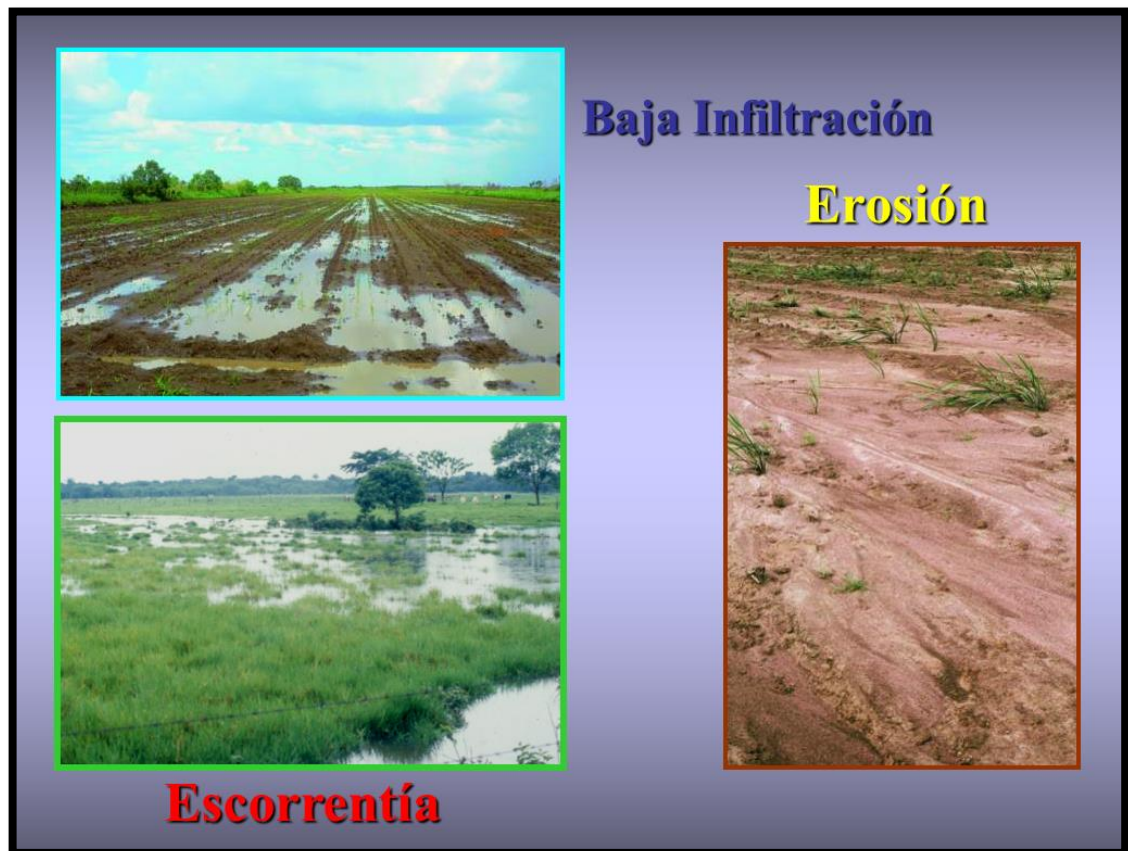
Fuente: Tomado de (IGAC, 2014).

La región de la Orinoquia al estar ubicada en una zona tropical al suroriente del país, presenta un alto grado de evolución en sus suelos, altas precipitaciones y humedad relativa. Presenta dos geofomas importantes (la altillanura bien drenada

y altillanura mal drenada), sus suelos presentan características edáficas sensibles a la compactación y sellamiento establecidas Amézquita *et al*, los cuáles deben ser manejados con prácticas conservacionistas y mejores formas de labranza , ver imagen 7, donde se observan los principales problemas en suelos de los llanos orientales (CORPOICA, CIAT, TSBF, 2007).

Se debe tener en cuenta los factores que modifican el clima que dentro del diseño Keyline a considerar son: latitud geográfica, altitud sobre el nivel del mar, presión atmosférica, viento, humedad relativa y precipitación (Gras, 2010).

**Imagen 7.** Problemas en suelos de los llanos orientales.



Fuente: Tomado de (CORPOICA, CIAT, TSBF, 2007).

La agricultura de revolución verde ha generado sobre sus suelos grandes cambios en su capacidad regenerativa, causando pérdidas de fertilidad, humedad, densidad aparente, porosidad, CIC en los suelos de los llanos orientales. (CORPOICA, CIAT, TSBF, 2007). Para comprender mejor este fenómeno es

necesario contar con estudios ecológicos de las sabanas de los llanos orientales al igual que conocer las prácticas de manejo más adecuadas para estos agroecosistemas.

#### **5.4 Especie vegetal utilizada**

Es una leguminosa herbácea de porte erecto, algo ramificada y de crecimiento hasta 1.2 m de altura, sus hojas son trifoliadas alternas, foliolos elíptico-ovalados de color verde oscuro, las inflorescencias son axilares en racimos, sus flores son grandes, de color púrpura, vainas achatadas y largas que contienen entre 4 y 18 semillas grandes de color blanco, el peso de 1.000 semillas son alrededor de 1.588gr, sistema radicular pivotante, que alcanza una profundidad de 72 cm en los suelos ácidos de la Orinoquia colombiana, la mayoría (82%) se localizan entre los 15 y 30 cm de profundidad. El ciclo vegetativo esta entre 150-180 días. Con una producción de biomasa verde de 20-40 t/ha, que corresponde a 3-6 t/ha de biomasa seca, lo que aporta al suelo entre 80-160 kg/ha de nitrógeno (N) y entre 28-110 kg/ha de potasio (K). Es rústica y presenta tolerancia a la acidez y sequía (Delgado y otros, 2003).

##### **5.4.1 Descripción botánica**

Leguminosa herbácea erecta a enredadera anual a perenne. Ciclo de cultivo de 90 – 120 días, germinación rápida, altura de 60 cm – 100 cm, con raíces pivotantes. Los tallos son poco ramificados, glabros y de color púrpura. Flores de color blanco a rosado, vainas con 30 cm de longitud y 3.5 cm de diámetro, aplastadas ensiformes e indehiscentes, de 12 a 20 semillas por vaina, forma oblonga o redondas, algo aplastadas, lisas y de color blanco.

##### **5.4.2 Clasificación taxonómica**

Reino:	Plantae
División:	Magnolyophyta
Clase:	Magnolyopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae

Subfamilia: Faboideae  
Tribu: Phaseoleae  
Subtribu: Diocleinae  
Género: *Cannavalia*  
Especie: *Cannavalia ensiformis* L.



## **6. Materiales y métodos**

### **6.1 Descripción del lugar**

Se seleccionó un lote de la unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos, Sede Barcelona, ubicada en la vereda Barcelona, en el municipio de Villavicencio, departamento del Meta. En las siguientes coordenadas geográficas: N 4° 04' 34.9" W 73° 34' 55.2", se encuentra a una altura promedio de 352 m.s.n.m. su relieve es plano, se encuentra en un bioma de sabana húmeda tropical, en una microcuenca con bosque de galería, que recoge el agua lluvia en la época invernal. Tiene una temperatura promedio en época seca de 26°C y de 22°C en época invernal (IDEAM, 2018).

El área total Unidad Rural es de 33 ha, distribuida en 10,10 ha de uso pecuario, 7,85 ha de uso agrícola, el resto del área en construcciones.

### **6.2 Diseño Experimental**

Se estableció un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 4 tratamientos; el primero fue el testigo (sin preparación del suelo), el segundo labranza Keyline (renovador de praderas), tercero labranza convencional (rastra de disco de doble acción) y cuarto labranza con cincel vibratorio y con 7 repeticiones. El área de cada unidad experimental fue de 200 m<sup>2</sup> (10m x 20m) con un área de borde de 3m para la circulación de la maquinaria siendo el área experimental de 8.372 m<sup>2</sup> en un lote de 12.000 m<sup>2</sup> , de uso en pastoreo dentro del área de manejo pecuario de la Unidad Rural.

### **6.3 Tratamientos**

Los sistemas de labranza establecidos como tratamientos son:

T1= Testigo absoluto (Sin labranza ni siembra)

L2= Labranza Keyline (Renovador de praderas)

L3= Labranza convencional (Rastra de disco)

L4= Labranza con cincel (Cincel vibratorio)

## **6.4 Variables**

De acuerdo con las características del experimento, los modelos de labranza y las propiedades del suelo se define de la siguiente manera las variables:

### **6.4.1 Dependientes**

Son aquellas a las cuales se les van a aplicar los tratamientos y están contenidas en la matriz del suelo y en el material vegetal utilizado, dentro de las cuales se tienen:

- Hw
- H $\theta$
- Dr
- Da
- Infiltración
- Resistencia mecánica a la penetración
- Capacidad de campo
- Peso de materia seca
- Altura
- Diámetro de cuello

### **6.4.2 Independientes**

Son los tipos de tratamientos que se van a aplicar al suelo y se correlacionan con las plantas utilizadas:

- Labranza con cincel vibratorio
- Labranza Keyline
- Labranza con rastra de discos

### **6.4.3 Intervinientes**

Son aquellas variables sobre las que no se tiene el control, pero que afectan igualmente y aportan variabilidad al experimento:

- Fertilidad natural del suelo
- Patrón de labranza

- Agroclimatología
- Entomofauna
- Material vegetal

## **6.5. Hipótesis**

### **6.5.1 Hipótesis nula (H0)**

No hay diferencia entre los sistemas de labranza, es decir, que las diferencias observadas se deben a desigualdades en el muestreo de las propiedades del suelo.

### **6.5.2 Hipótesis alternativa (H1):**

Existen diferencias en al menos uno de los diferentes sistemas de labranza, es decir, que las diferencias observadas se deben los tratamientos aplicados sobre el suelo.

## **6.6 Levantamiento altimétrico del terreno experimental**

Este trabajo se realizó con la estación total de topografía marca Topcon serie CX-108, del laboratorio de Geomática del programa de Ingeniería Agronómica. Se creó un Job y se introdujeron coordenadas arbitrarias para luego hacer las lecturas con el prisma en una malla espacial de 10m x 10m por todo el lote. Los datos obtenidos de la estación topográfica fueron transformados en una tabla de Excel en formato (CSV) delimitado por comas del levantamiento topográfico el cual se corrió con el software SAGA® versión 2.3.2 que sirvió para crear el mapa de curvas de nivel, donde se pudo identificar los puntos y líneas claves. Después de esto se definieron las unidades experimentales y se realizó la primera medición de las propiedades del suelo.

## **6.7 Variables del suelo analizadas**

Estos muestreos tuvieron dos fases, la fase de campo donde se pudo hallar algunos valores y la fase de laboratorio donde se hallaron otros. Para la realización de los muestreos en laboratorio de las variables física del suelo como densidad aparente, densidad real, porosidad total, textura, humedad gravimétrica y volumétrica, porcentaje de saturación de agua y estabilidad estructural de

agregados siguiendo la metodología del Laboratorio de Suelos de la Universidad de los Llanos, el cual esta reglamentada por el IGAC (2006) (Jaramillo, 2002) AGROSAVIA (CORPOICA, 2011) (SENA, 2017) (USDA, 1999). En cuanto a las variables determinadas en campo fueron con el uso del equipo Penetrologger marca EIJKELKAMP para medir la resistencia mecánica a la penetración, el perfil del suelo por el método de la cajuela (50 cm x 50 cm x 50 cm) para hallar capas endurecidas para la determinación del sistema de labranza convencional (USDA, 1999).

### **6.8 Establecimiento en campo de los sistemas de labranza**

A partir del mapa de curvas de nivel obtenido, se definió el patrón de labranza para las unidades experimentales que se establecieron para la labranza keyline, esto se logró con la ayuda del agronivel y su marcado con cal viva en la superficie del suelo. Luego de marcar la línea clave, se procedió a ejecutar la labranza con el renovador de praderas en cada una de estas, la cual consistió en un solo pase, siguiendo el patrón de labranza. Para la labranza convencional con rastra, se realizaron seis pases debido a que el suelo estaba muy compactado y lograr tener un suelo adecuado para la siembra de la canavalia. En cuanto al tratamiento con cincel, se realizó un solo pase en cada unidad experimental hasta una profundidad de 20 cm, luego de esto se procedió a sembrar el canavalia.

### **6.9 Variables biométricas**

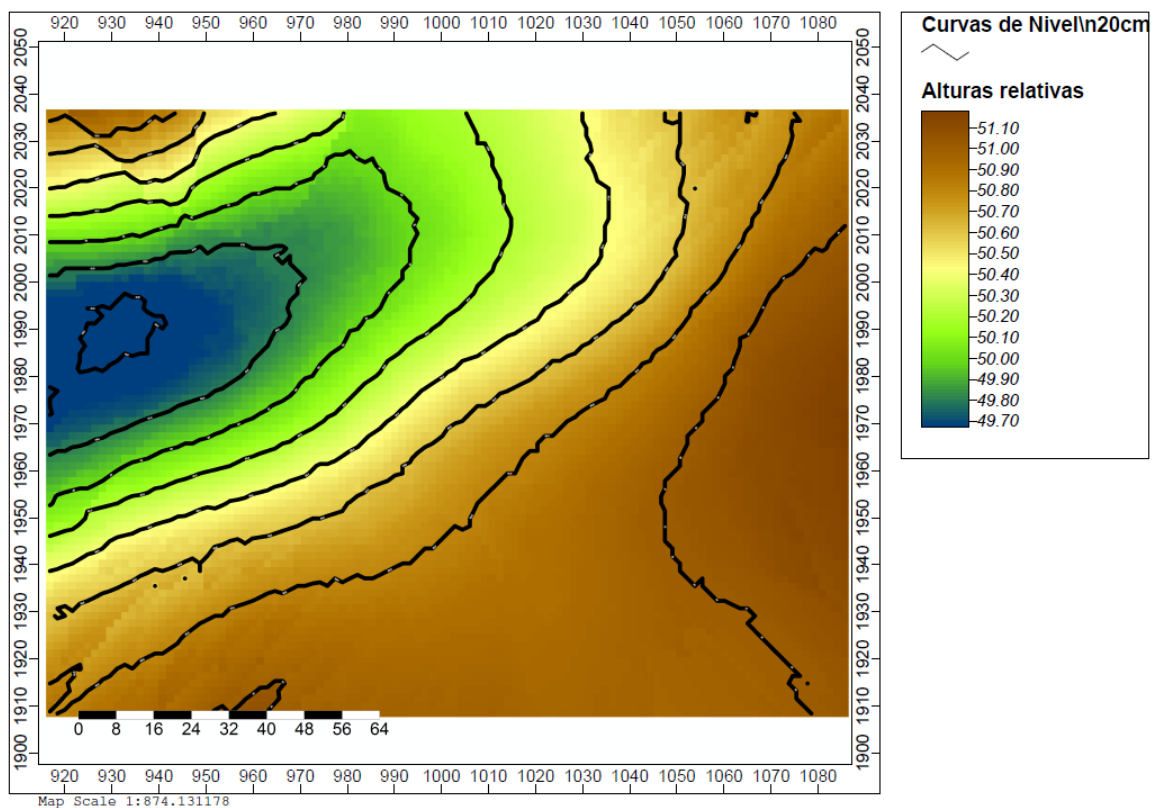
Luego de sembrado el frijol *Cannavalia ensiformis*, en cada unidad experimental, la evaluación fenológica de las plantas se hizo a los 60 DDS, cuando el punto de crecimiento vegetativo es el mayor y marca el final del experimento. Teniendo en cuenta esto, las variables consideradas fueron: altura de la planta, diámetro del tallo y peso de materia seca, la cuales se determinaron tomando 10 plantas al azar de cada unidad experimental. La medición de la altura y diámetro de cuello de la planta se hicieron con un pie de rey, decámetro, consignando los datos en una tabla con los datos del bloque, tratamiento, altura en centímetros y diámetro de cuello en milímetros. Para la medición de la materia seca, se tomaron la 10 plantas al azar de cada unidad experimental y se colocaron en bolsas separadas, luego se ataron juntas y se colocaron en una estufa a 105°C por

72 horas. Pasado este tiempo se sacaron de la estufa y se procedió a tomar el peso de cada atado en una balanza electrónica y registrando los resultados en una tabla previamente elaborada con el bloque, tratamiento y peso en gramos.

## 7. Resultados

Inicialmente se hizo el levantamiento topográfico del terreno experimental, siendo este un potrero de pastoreo. Al momento de realizarse la actividad se tuvo en cuenta el área total. El mapa elaborado contiene el levantamiento altimétrico del terreno como se aprecia en la imagen 8.

**Imagen 8.** Mapa del levantamiento altimétrico del terreno experimental en la Unidad Rural de la universidad de los llanos, sede Barcelona.



*Fuente: El autor.*

Después de haber realizado el levantamiento topográfico del terreno se procedió a establecer el diseño experimental y de definir las unidades experimentales, luego de esto se realizó el primer muestreo década una de las variables de suelo con dos submuestreos en cada unidad experimental, que a continuación se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Muestreo uno, variables físicas del suelo de las unidades experimentales para la caracterización de los tratamientos en la evaluación del keyline, en la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, entre 9 y el 18 de septiembre de 2019.

Trat	Bloq	Sub	Hw	H <sub>e</sub>	Da	Dr	Poros	Sat %	R.M.P.	Tex
1	1	1	28,78	36,16	1,26	2,25	40,51	82,03	1,53	AF
	1	2	28,08	35,66	1,27	2,40	45,84	75,94	1,47	AF
2	1	1	27,47	35,94	1,31	2,02	30,92	102,47	1,54	AF
	1	2	29,44	36,57	1,24	2,22	40,39	83,16	1,34	AF
3	1	1	31,46	37,19	1,18	2,19	42,65	80,68	1,44	AF
	1	2	31,29	37,30	1,19	2,11	39,86	85,81	1,63	AF
4	1	1	25,52	32,06	1,26	2,21	39,57	74,21	1,64	AF
	1	2	27,44	35,46	1,29	2,45	43,81	75,15	1,69	AF
1	2	1	28,15	35,04	1,24	2,33	43,09	75,20	1,50	AF
	2	2	28,63	35,86	1,25	2,33	42,73	77,68	1,41	AF
2	2	1	29,78	36,52	1,23	2,19	40,49	82,89	0,92	AF
	2	2	29,22	36,26	1,24	2,30	42,67	78,64	1,13	AF
3	2	1	32,11	40,81	1,27	2,18	37,83	98,21	1,81	AF
	2	2	27,84	35,17	1,26	2,33	42,19	77,03	1,53	AF
4	2	1	30,46	38,02	1,25	2,20	45,72	87,75	1,21	AF
	2	2	27,62	34,62	1,25	2,30	41,97	76,18	1,76	AF
1	3	1	29,65	33,98	1,15	2,26	45,98	69,04	1,77	AF
	3	2	30,04	35,88	1,19	2,26	43,74	76,17	2,08	AF
2	3	1	32,39	38,72	1,20	2,20	42,20	84,78	1,10	AF
	3	2	33,19	37,05	1,12	2,05	42,08	81,22	1,42	AF
3	3	1	25,23	29,95	1,19	2,17	41,87	66,02	1,90	AF
	3	2	29,39	35,97	1,22	2,23	41,52	79,87	2,15	AF
4	3	1	32,37	37,59	1,16	2,24	44,85	78,05	1,49	AF
	3	2	30,34	40,32	1,33	2,14	40,54	106,29	1,50	AF
1	4	1	39,99	39,51	0,99	2,16	47,72	72,94	1,65	AF
	4	2	36,35	38,88	1,07	1,95	41,61	86,18	1,44	AF
2	4	1	30,28	35,27	1,16	2,15	42,37	76,97	1,93	AF
	4	2	28,63	33,88	1,18	2,26	44,20	71,26	1,49	AF
3	4	1	27,84	35,32	1,27	2,09	35,25	90,26	1,58	AF

Trat	Bloq	Sub	Hw	H <sub>e</sub>	Da	Dr	Poros	Sat %	R.M.P.	Tex
	4	2	28,23	35,15	1,25	1,93	31,50	98,72	1,33	AF
4	4	1	36,71	52,27	1,42	2,54	46,35	118,94	1,55	AF
	4	2	34,40	33,54	0,97	2,20	43,00	60,24	1,82	AF
1	5	1	34,55	41,37	1,20	2,20	50,11	90,70	1,49	AF
	5	2	37,64	37,02	0,98	2,27	46,20	65,31	1,59	AF
2	5	1	29,18	30,36	1,04	2,29	51,63	55,66	1,17	AF
	5	2	28,60	38,72	1,35	2,24	50,97	98,05	2,02	AF
3	5	1	31,36	40,03	1,28	2,13	36,12	100,19	1,53	AF
	5	2	29,42	33,54	1,14	2,14	43,11	71,78	1,46	AF
4	5	1	30,83	35,85	1,16	2,32	46,77	71,82	1,33	AF
	5	2	33,78	33,03	0,98	2,30	44,62	57,49	1,37	AF
1	6	1	38,56	41,23	1,07	2,22	48,85	79,41	2,00	AF
	6	2	42,31	44,24	1,05	2,40	53,61	78,44	1,15	AF
2	6	1	47,25	46,51	0,98	2,06	49,12	89,14	2,06	AF
	6	2	46,85	47,32	1,01	2,13	49,44	90,17	0,61	AF
3	6	1	31,48	40,63	1,29	2,13	35,52	103,15	1,49	AF
	6	2	29,55	34,67	1,17	2,16	42,19	75,95	1,51	AF
4	6	1	16,95	20,27	1,20	2,01	36,62	50,15	1,63	AF
	6	2	47,42	51,30	1,08	2,27	49,35	97,92	1,53	AF
1	7	1	63,56	48,60	0,76	2,22	54,48	74,13	1,49	AF
	7	2	67,27	44,44	0,66	2,17	50,00	63,89	1,15	AF
2	7	1	62,63	62,26	0,99	1,83	44,17	136,29	1,21	AF
	7	2	57,92	64,83	1,12	1,95	39,84	152,19	0,98	AF
3	7	1	36,95	41,85	1,13	2,01	40,06	95,85	1,12	AF
	7	2	50,27	36,54	0,73	2,09	49,33	56,03	1,39	AF
4	7	1	35,92	40,68	1,13	1,95	38,22	97,02	2,04	AF
	7	2	33,44	39,99	1,20	1,85	31,23	113,13	1,69	AF

Fuente: El autor.

De acuerdo con la metodología realizada, luego de adecuar el suelo de acuerdo con los tratamientos en las unidades experimentales, se procedió a medir de nuevo las propiedades hidrogeológicas a los 60 DDS del frijol cannavalía, además de tomar datos como altura, diámetro y materia seca de 10 plantas al azar de cada unidad experimental. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.



**Tabla 3.** Muestreo dos, de las variables físicas del suelo y de estabilidad de agregados de las unidades experimentales para la caracterización de los tratamientos en la evaluación del keyline, en la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, entre 9 y el 18 de diciembre de 2019.

Trat	Bloq	Sub	Hw	H <sub>e</sub>	Da	Dr	Poros	Sat %	R.M.P.	I.E.	A.F.	A.E.	D.M.P.	D.G.M.
Testigo	1	28,43	35,91	1,26	2,32	43,17	78,99	1,50	AF	87,80	11,61	93,76	5,56	3,62
Keyline	1	28,45	36,25	1,28	2,12	35,66	92,82	1,44	AF	82,93	15,31	79,33	4,25	2,12
Rastra	1	31,37	37,24	1,19	2,15	41,26	83,25	1,54	AF	73,72	24,81	74,70	3,89	1,77
Cincel	1	26,48	33,76	1,27	2,33	41,69	74,68	1,67	AF	69,29	20,61	64,94	2,37	1,10
Testigo	2	28,39	35,45	1,25	2,33	42,91	76,44	1,46	AF					
Keyline	2	29,50	36,39	1,23	2,25	41,58	80,76	1,03	AF					
Rastra	2	29,97	37,99	1,27	2,25	40,01	87,62	1,67	AF					
Cincel	2	29,04	36,32	1,25	2,25	43,84	81,96	1,48	AF					
Testigo	3	29,84	34,93	1,17	2,26	44,86	72,60	1,92	AF	85,49	16,38	93,99	5,13	2,83
Keyline	3	32,79	37,88	1,16	2,13	42,14	83,00	1,26	AF	89,91	15,63	96,34	5,47	3,13
Rastra	3	27,31	32,96	1,21	2,20	41,69	72,95	2,02	AF	90,25	15,15	97,11	5,42	3,09
Cincel	3	31,35	38,95	1,25	2,19	42,69	92,17	1,50	AF	75,42	21,90	83,66	4,09	1,94
Testigo	4	38,17	39,20	1,03	2,05	44,67	79,56	1,55	AF					
Keyline	4	29,46	34,58	1,17	2,20	43,28	74,12	1,71	AF					
Rastra	4	28,03	35,24	1,26	2,01	33,38	94,49	1,45	AF					
Cincel	4	35,56	42,90	1,20	2,37	44,68	89,59	1,68	AF					
Testigo	5	36,10	39,20	1,09	2,24	48,16	78,01	1,54	AF	71,86	21,28	85,25	4,21	2,08
Keyline	5	28,89	34,54	1,20	2,26	51,30	76,86	1,59	AF	93,88	13,12	97,97	5,81	3,56
Rastra	5	30,39	36,78	1,21	2,13	39,62	85,98	1,49	AF	61,60	36,10	62,72	2,47	1,00
Cincel	5	32,30	34,44	1,07	2,31	45,69	64,66	1,35	AF	82,26	6,70	2,30	2,08	1,13

Trat	Bloq	Sub	Hw	Hø	Da	Dr	Poró	Sat %	R.M.P.	I.E.	A.F.	A.E.	D.M.P.	D.G.M.
Testigo	6	40,43	42,73	1,06	2,31	51,23	78,93	1,57	AF					
Keyline	6	47,05	46,91	1,00	2,09	49,28	89,66	1,33	AF					
Rastra	6	30,51	37,65	1,23	2,14	38,85	89,55	1,50	AF					
Cincel	6	32,19	35,79	1,14	2,14	42,98	74,04	1,58	AF					
Testigo	7	65,42	46,52	0,71	2,20	52,24	69,01	1,32	AF	83,39	12,28	97,14	5,32	3,20
Keyline	7	60,28	63,54	1,06	1,89	42,00	144,24	1,10	AF	88,39	12,09	100,62	5,68	3,55
Rastra	7	43,61	39,19	0,93	2,05	44,70	75,94	1,25	AF	87,65	13,35	94,25	5,27	3,04
Cincel	7	34,68	40,34	1,16	1,90	34,72	105,08	1,87	AF	90,62	15,41	85,67	5,07	2,73

Fuente: El autor.

**Tabla 4.** Muestreo tres, Datos biométricos de las platas de Cannavalia de las unidades experimentales para la caracterización de los tratamientos en la evaluación del keyline, en la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona, entre 9 y el 18 de septiembre de 2019.

BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS	BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS
1	2	1	23,20	5,66		2	2	1	22,60	4,71	
1	2	2	65,20	6,82		2	2	2	28,10	5,32	
1	2	3	35,30	4,66		2	2	3	16,20	2,80	
1	2	4	19,10	3,47	120,47	2	2	4	18,20	5,25	
1	2	5	20,30	5,35		2	2	5	30,60	5,35	107,36
1	2	6	14,30	5,10		2	2	6	34,80	5,62	
1	2	7	25,60	4,65		2	2	7	32,00	5,37	
1	2	8	21,30	5,78		2	2	8	34,80	5,05	

BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS	BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS
1	2	9	34,30	4,14		2	2	9	25,60	5,18	
1	2	10	18,20	5,61		2	2	10	27,20	6,17	
1	3	1	63,20	7,23		2	3	1	34,10	5,40	
1	3	2	62,50	6,85		2	3	2	43,50	5,76	
1	3	3	47,10	5,94		2	3	3	67,90	7,23	
1	3	4	36,80	6,10		2	3	4	66,50	7,05	
1	3	5	52,30	6,52	486,22	2	3	5	39,30	4,89	387,47
1	3	6	36,40	5,92		2	3	6	56,00	6,33	
1	3	7	42,30	5,50		2	3	7	45,70	5,98	
1	3	8	55,30	6,78		2	3	8	32,00	5,16	
1	3	9	84,20	8,23		2	3	9	62,10	8,24	
1	3	10	51,20	6,79		2	3	10	47,50	6,03	
1	4	1	28,10	5,81		2	4	1	45,60	7,44	
1	4	2	58,20	7,09		2	4	2	37,40	5,75	
1	4	3	64,20	7,32		2	4	3	28,60	4,62	
1	4	4	46,20	5,93		2	4	4	53,20	7,35	
1	4	5	90,40	7,96	332,89	2	4	5	47,30	5,63	365,91
1	4	6	39,20	7,61		2	4	6	79,40	9,42	
1	4	7	53,20	7,07		2	4	7	43,70	6,41	
1	4	8	36,80	5,49		2	4	8	52,30	7,43	
1	4	9	32,20	5,19		2	4	9	44,10	6,22	
1	4	10	50,40	6,23		2	4	10	72,50	8,48	
3	2	1	32,50	5,31	147,56	4	2	1	49,20	5,88	163.,6

BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS	BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS
3	2	2	19,20	4,25		4	2	2	28,40	4,16	
3	2	3	29,80	4,06		4	2	3	20,60	3,89	
3	2	4	24,10	3,24		4	2	4	23,50	3,60	
3	2	5	38,40	4,21		4	2	5	22,60	5,73	
3	2	6	25,30	5,26		4	2	6	24,80	5,28	
3	2	7	13,50	4,31		4	2	7	19,10	3,84	
3	2	8	20,30	4,40		4	2	8	35,80	5,61	
3	2	9	36,10	6,17		4	2	9	36,10	5,21	
3	2	10	41,30	6,58		4	2	10	52,10	7,46	
3	3	1	28,20	3,90		4	3	1	38,90	6,08	
3	3	2	16,60	3,52		4	3	2	56,20	7,28	
3	3	3	18,40	4,97		4	3	3	52,40	7,14	
3	3	4	25,50	4,97		4	3	4	40,10	6,67	
3	3	5	23,20	5,14	438,92	4	3	5	21,50	5,04	528,55
3	3	6	22,80	3,74		4	3	6	39,20	5,83	
3	3	7	24,40	4,25		4	3	7	47,20	6,22	
3	3	8	26,30	6,73		4	3	8	42,80	5,69	
3	3	9	13,40	5,85		4	3	9	55,30	8,45	
3	3	10	26,80	3,93		4	3	10	25,60	4,82	
3	4	1	43,80	5,31		4	4	1	59,00	6,02	
3	4	2	63,20	6,34	526,19	4	4	2	29,40	3,88	484,11
3	4	3	76,00	8,62		4	4	3	43,60	5,43	
3	4	4	39,70	5,96		4	4	4	57,70	6,17	

BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS	BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS
3	4	5	42,40	6,29		4	4	5	18,40	3,33	
3	4	6	53,50	6,78		4	4	6	67,60	6,70	
3	4	7	49,40	5,67		4	4	7	31,40	5,20	
3	4	8	51,20	6,72		4	4	8	19,00	4,82	
3	4	9	67,00	6,78		4	4	9	21,60	3,50	
3	4	10	39,40	6,34		4	4	10	57,60	6,44	
5	2	1	21,80	3,56		6	2	1	31,20	5,96	
5	2	2	30,50	5,32		6	2	2	36,20	3,20	
5	2	3	26,30	4,73		6	2	3	15,60	3,70	
5	2	4	15,10	4,12		6	2	4	18,20	3,58	
5	2	5	13,20	3,58	284,77	6	2	5	23,70	5,26	179,35
5	2	6	32,50	5,86		6	2	6	27,70	5,23	
5	2	7	22,90	5,21		6	2	7	19,20	4,81	
5	2	8	24,80	4,22		6	2	8	18,50	5,03	
5	2	9	36,30	5,92		6	2	9	23,00	4,66	
5	2	10	20,30	4,65		6	2	10	34,00	4,88	
5	3	1	64,80	6,23		6	3	1	50,70	6,38	
5	3	2	56,20	5,91		6	3	2	53,20	6,22	
5	3	3	78,30	7,55		6	3	3	55,10	6,71	
5	3	4	49,70	6,31	628,32	6	3	4	36,70	5,29	429,73
5	3	5	39,60	5,39		6	3	5	44,30	5,08	
5	3	6	47,60	5,08		6	3	6	58,70	5,99	
5	3	7	63,40	6,36		6	3	7	69,80	7,39	

BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS	BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS
5	3	8	70,20	8,26		6	3	8	30,40	5,23	
5	3	9	82,50	9,82		6	3	9	26,80	3,75	
5	3	10	56,70	7,74		6	3	10	36,60	5,01	
5	4	1	59,20	7,33		6	4	1	78,30	10,41	
5	4	2	45,90	6,48		6	4	2	51,00	6,56	
5	4	3	35,30	6,12		6	4	3	56,50	8,23	
5	4	4	44,10	5,31		6	4	4	34,50	5,88	
5	4	5	47,90	6,03	618,41	6	4	5	62,60	8,39	519,35
5	4	6	50,40	6,15		6	4	6	75,50	8,62	
5	4	7	70,50	8,43		6	4	7	52,80	7,84	
5	4	8	61,20	7,68		6	4	8	65,30	8,27	
5	4	9	38,90	5,39		6	4	9	52,20	6,20	
5	4	10	41,50	6,62		6	4	10	53,80	7,36	
7	2	1	11,10	3,65		7	4	1	49,00	6,67	
7	2	2	15,30	4,57		7	4	2	47,00	7,69	
7	2	3	13,20	4,14		7	4	3	41,00	6,34	
7	2	4	30,20	4,53		7	4	4	38,50	6,23	
7	2	5	36,20	5,22	147,41	7	4	5	42,90	6,58	632,71
7	2	6	16,50	3,72		7	4	6	37,80	6,13	
7	2	7	11,30	3,60		7	4	7	40,30	6,67	
7	2	8	12,80	3,42		7	4	8	87,20	7,93	
7	2	9	18,40	4,42		7	4	9	63,50	6,24	
7	2	10	40,70	5,81		7	4	10	38,00	5,83	

BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS	BLOQUE	TRAT	PLANTA	ALTURA	DIA CUELLO	PESO MS
7	3	1	48,80	5,89							
7	3	2	63,20	7,69							
7	3	3	68,30	6,01							
7	3	4	79,00	7,66							
7	3	5	48,20	5,82							
7	3	6	49,30	7,42	521,76						
7	3	7	57,60	6,80							
7	3	8	93,40	7,47							
7	3	9	60,20	8,03							
7	3	10	72,40	8,29							

*Fuente: El autor.*

## 8. Discusión

De acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Tukey-Kramer para la humedad gravimétrica (Hw), no se evidenció diferencias significativas entre tratamientos. Esto podría deberse a diferentes factores como el cambio de la época de lluvias a la época seca, momento en el cual se realizó el segundo muestreo, sin embargo, si se observa en el gráfico 1, los valores del suelo del tratamiento testigo y del Keyline presentan una tendencia más alta en acumulación de humedad gravimétrica con relación a los tratamientos cincel y rastra.

En cuanto a los valores obtenidos en el ANCOVA, se puede observar en la tabla 5.

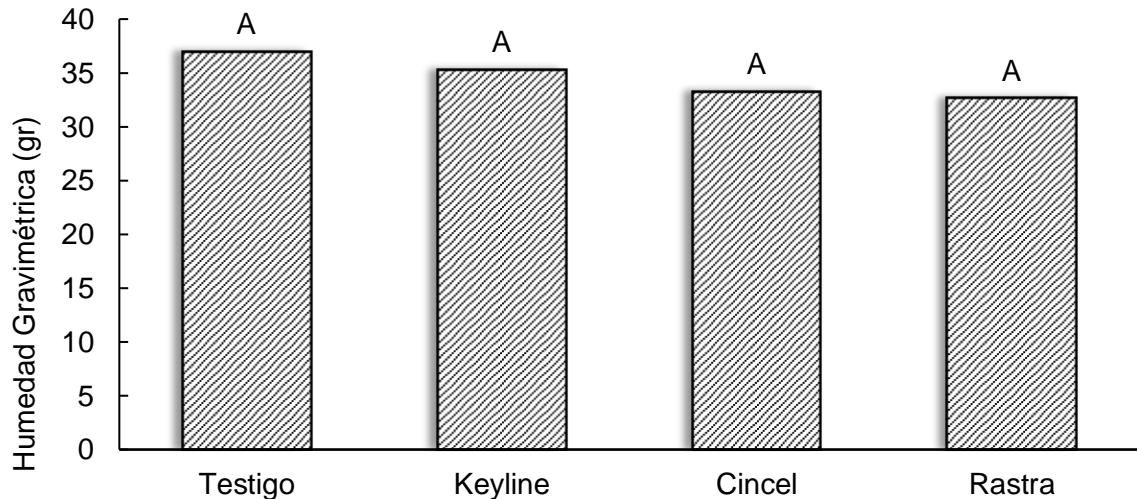
**Tabla 5.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la humedad gravimétrica del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

Fuente	DF	Error Tipo III SS	Media al cuadrado	Valor de F	Pr > F
<b>Bloque</b>	6	152.6127677	25.4354613	0.92	0.5066
<b>Tratamiento</b>	3	69.5895191	23.1965064	0.84	0.4924
<b>Hw inicial</b>	1	211.1944092	211.1944092	7.61	0.01334

Fuente: El autor.



**Gráfico 1.** Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de la humedad gravimétrica con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \*Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

Si bien no existen diferencias significativas en cuanto al contenido de humedad en el suelo debido a los sistemas de labranza establecidos, cabe resaltar que el primer muestreo se realizó en época de lluvias y que por lo tanto los resultados del segundo muestreo que se realizó el 10 de diciembre, en época seca, y el posterior ANCOVA reflejaron contenidos de humedad similares.

A lo mejor, si se observa los datos del testigo, se puede apreciar que este presenta la mayor cantidad de agua acumulada debido a que no hubo un fraccionamiento en su perfil del suelo, lo que ayudó a mantener constante su humedad. Contrario a los demás tratamientos que si realizaron una ruptura en la espacio continuo, lo que origino el movimiento del agua acumulada en la época de lluvias hacia las capas más profundas en el perfil del suelo, que por lo tanto corresponderían a los datos obtenidos.

A su vez, según lo planteado por Bravo y Florentino (1997), los contenidos de humedad están relacionados con la densidad aparente, independientemente de los valores conseguidos con relación a la resistencia mecánica a la penetración. En

cuanto a, lo dicho por Castro y Amézquita (como se citó en Ceballos *et. al.*, 2009) los cambios en propiedades físicas como la microporosidad y macroporosidad son debidos a los sistemas de labranza convencional y vertical, afectando el intercambio gaseoso, lo que disminuye una mayor exploración de las raíces para la obtención de nutrientes y agua que benefician su desarrollo, obligando a los productores a abandonar estos suelos por perder sus características productivas (Venialgo, y otros, 2004).

En la tabla 6, se puede apreciar los valores del análisis descriptivo del proceso del ANCOVA para la humedad volumétrica.

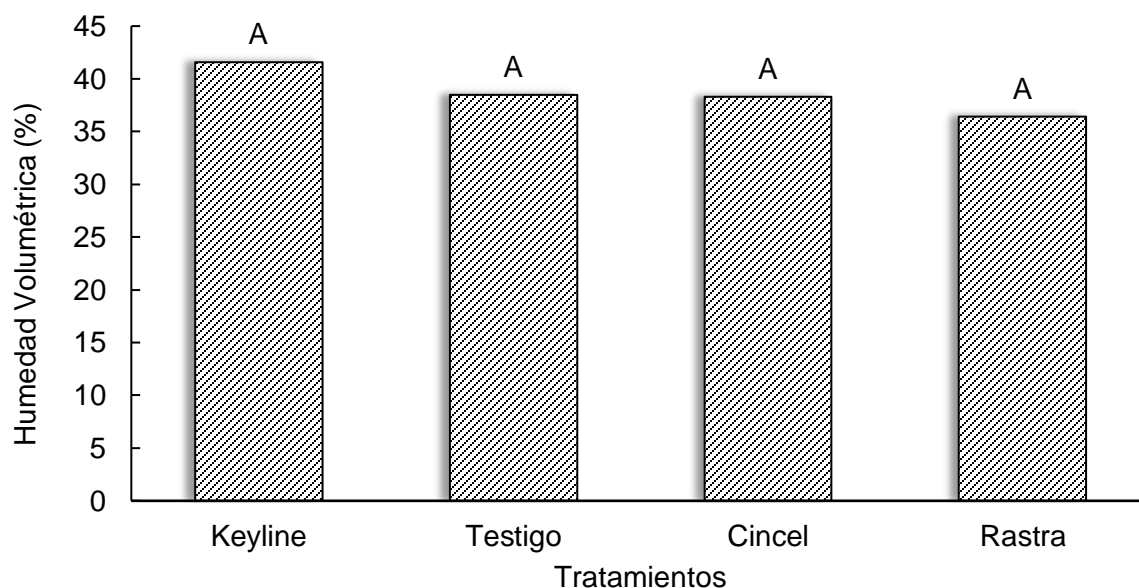
**Tabla 6.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la humedad volumétrica del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>Error Tipo III SS</b>	<b>Media al cuadrado</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloque</b>	6	176.2002071	29.3667012	1.24	0.3370
<b>Tratamiento</b>	3	95.2825865	31.7608622	1.34	0.2957
<b>H<sub>0</sub> inicial</b>	1	51.7249919	51.7249919	2.18	0.1585

*Fuente: El autor.*

Ahora veamos a la humedad volumétrica (H<sub>0</sub>), esta propiedad no presentó diferencias estadísticas significativas como se observa en el gráfico 2, siendo muy similares entre los diferentes tratamientos y el testigo. Tales resultados reflejan la poca o nula disminución de la materia orgánica presente en el lugar, lo cual es positivo para el suelo.

**Gráfico 2.** Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de la humedad volumétrica con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \*Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

Respecto a los contenidos de humedad volumétrica, estos están directamente relacionados con la materia orgánica, lo que significa que, con el tiempo del experimento esta variable no presentó ningún cambio, ya que su deterioro u oxidación no fue considerable con relación al tipo y manejo del cultivo.

Además, la calidad del suelo depende del sistema de labranza, determinando la cantidad de materia orgánica presente, la estructura y el contenido de humedad (Osuna *et. al.*, 2006). Aunque, en un estudio realizado se demostró que el sistema de labranza está directamente relacionado con retención de humedad en los primeros 40 cm del perfil del suelo, sin importar la época de lluvia o sequía, logrando así una mayor absorción de agua por parte de la planta (Uribe & Rouanet, 2002).

Los datos obtenidos del análisis estadísticos se presentan a continuación en la tabla 7, para los valores de densidad aparente.

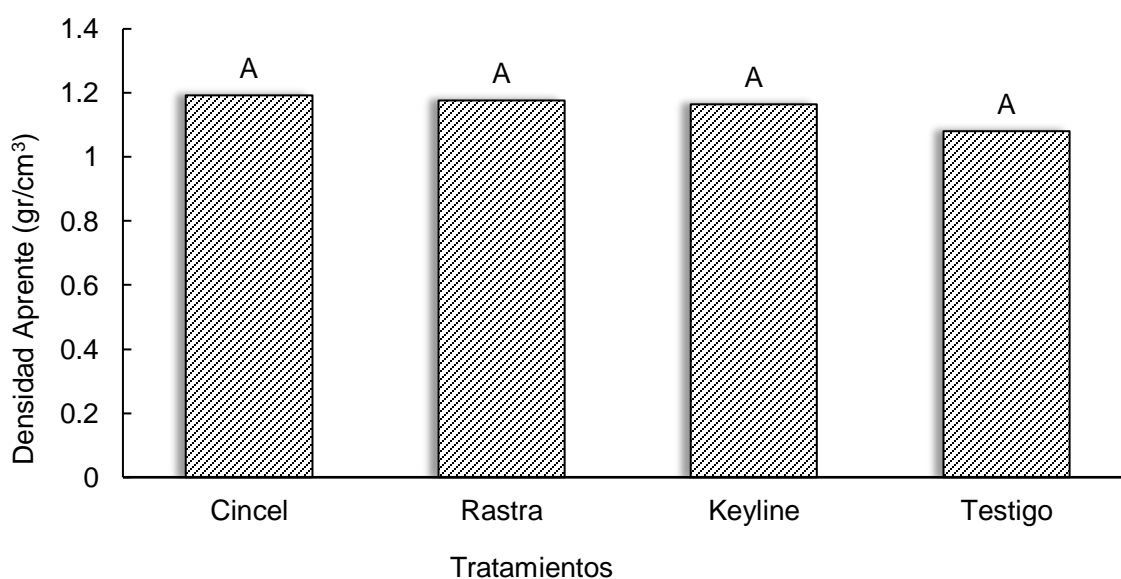
**Tabla 7.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la densidad aparente del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

Fuente	DF	Error Tipo III SS	Media al cuadrado	Valor de F	Pr > F
<b>Bloque</b>	6	0.05933270	0.00988878	1.17	0.3696
<b>Tratamiento</b>	3	0.05306182	0.01768727	2.08	0.1403
<b>Da inicial</b>	1	0.00124056	0.00124056	0.15	0.7070

Fuente: El autor.

Con respecto a la variable densidad aparente, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en relación a los sistemas de labranza utilizados, como se observa en el gráfico 3, ya que estos valores son muy similares entre sí.

**Gráfico 3.** Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de la densidad aparente con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \*Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

A lo mejor los cambios importantes puedan verse reflejados en varios ciclos de cultivo, donde los sistemas de labranza y del efecto de las raíces, modifiquen la continuidad del suelo y disminuyan los valores hasta puntos deseados, tal como lo

plantea la técnica que para lograrlo se deben realizar como mínimo 3 ciclos de siembra.

De ahí que, es importante mencionar lo que plantean (Castro y Amézquita, 1991) citado en (Amézquita E. , 1998) los cuales declaran que los bajos rendimientos en suelos tropicales son debidos a capas endurecidas que se deben corregir con implementos agrícolas como cinceles y subsoladores para disminuir la densidad aparente, ya que si bien existe un cambio en los primeros 10 cm de profundidad, esta tiende a aumentar a mayores profundidades por el uso de rastras, generando costras compactadas e impidiendo la exploración de las raíces a mayor profundidad.

En definitiva, esta propiedad del suelo al no ser tenida en cuenta al momento de realizar la adecuación del terreno agrícola, las consecuencias en los rendimientos van a tender a ser muy por debajo del promedio de la zona, significando una perdida enorme para los productores que dejan de lado el estudio de las características físicas de los suelos por darle énfasis a otras, como las químicas.

De acuerdo con la tabla 8, los valores del ANCOVA para la porosidad total se presenta a continuación.

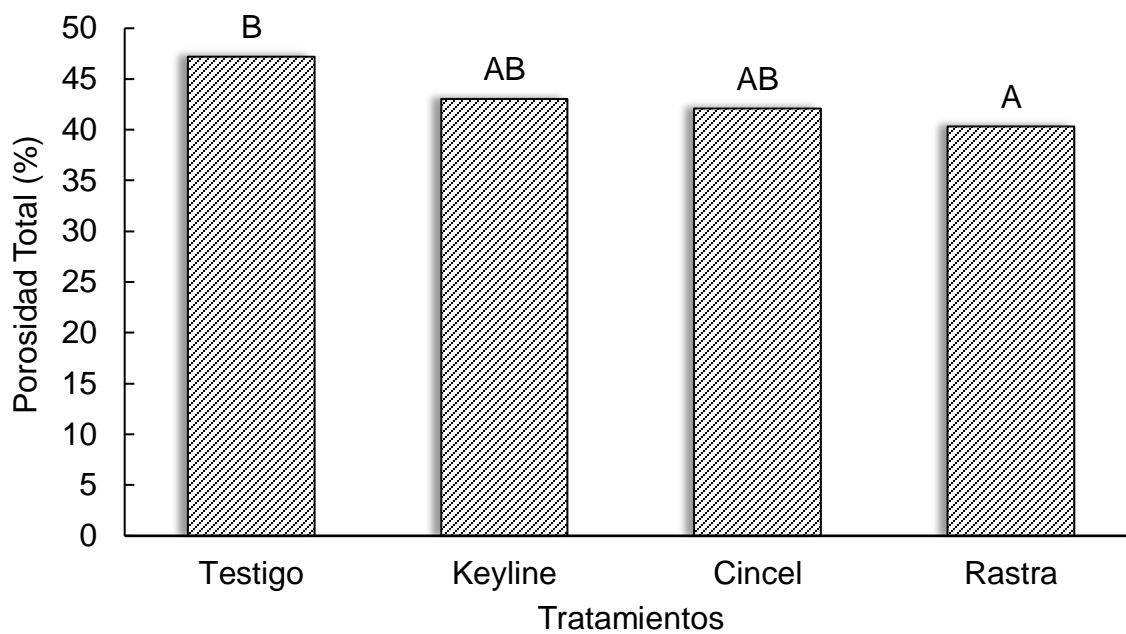
**Tabla 8.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la porosidad total del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>Error Tipo III SS</b>	<b>Media al cuadrado</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloque</b>	6	76.3232553	12.7205425	0.76	0.6134
<b>Tratamiento</b>	3	174.6777985	58.2259328	3.46	0.0397
<b>Poro inicial</b>	1	8.9312506	8.9312506	0.53	0.4761

*Fuente: El autor.*

Ahora veamos a la porosidad total, como se observa en el gráfico 4, estas presentaron diferencias significativas debido a los tratamientos establecidos, como se muestra a continuación.

**Gráfico 4.** Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de porosidad total en (%) con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \* Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

En efecto, del gráfico anterior se puede decir que la porosidad total del suelo presentó un comportamiento normal, ya que, para el testigo al no tener ningún sistema de labranza obtuvo el mayor valor, seguido de la labranza keyline y cincel, donde el efecto de estos implementos es semejante en comparación con el tratamiento con rastra que reportó el menor espacio poroso. Es probable que este comportamiento se halla debido como se dijo anteriormente, al cambio en la densidad aparente y a la ruptura de continuidad del suelo, generando el movimiento del agua en el perfil del suelo y con ello reagrupando las partículas del suelo, lo cual hizo que se disminuyera en los tratamientos y se mantuviera en el testigo.

Al mismo tiempo, la cantidad de pases de rastra (seis) para adecuar el suelo para la siembra del frijol canavalia, influyó en el espacio poroso de las unidades experimentales, debido al peso del tractor sobre este. No obstante, este cambio se

debe ver en un tiempo largo de uso y no en un solo ciclo de cultivo, tal como lo plantea Amézquita (1998) ,que después de 20 años de uso la porosidad total se redujo en un 22% con labranza convencional en suelos de la altillanura colombiana. Dicho lo anterior, la reducción de la porosidad en este caso fue del 15%, por lo que estos resultados pueden estar ligados al tipo de textura y estructura, por lo cual se debería continuar con el experimento en el tiempo para poder observar los valores con respecto a los recolectados, para poder determinar si los efectos son debidos a los sistemas de labranza y no a algún error en la toma de los datos.

Por otra parte, la densidad aparente no presentó diferencias estadísticas significativas respecto a los sistemas de labranza utilizados, ya que están al estar íntimamente ligada con la porosidad total, se debe tener en cuenta, dado que, por pequeños que sean estos cambios, cuando se representan porcentualmente en la porosidad total se pudo observar las diferencias estadísticas significativas, y se puede apreciar su correlación (Lorenzo, 1988).

De ahí que, la tendencia de los datos de la porosidad total en el testigo sea mayores, que los obtenidos en los tratamiento ejecutados, y sea precisamente el rastra en el que haya tenido los valores más bajos, como consecuencia de la reorganización de las partículas en el perfil del suelo.

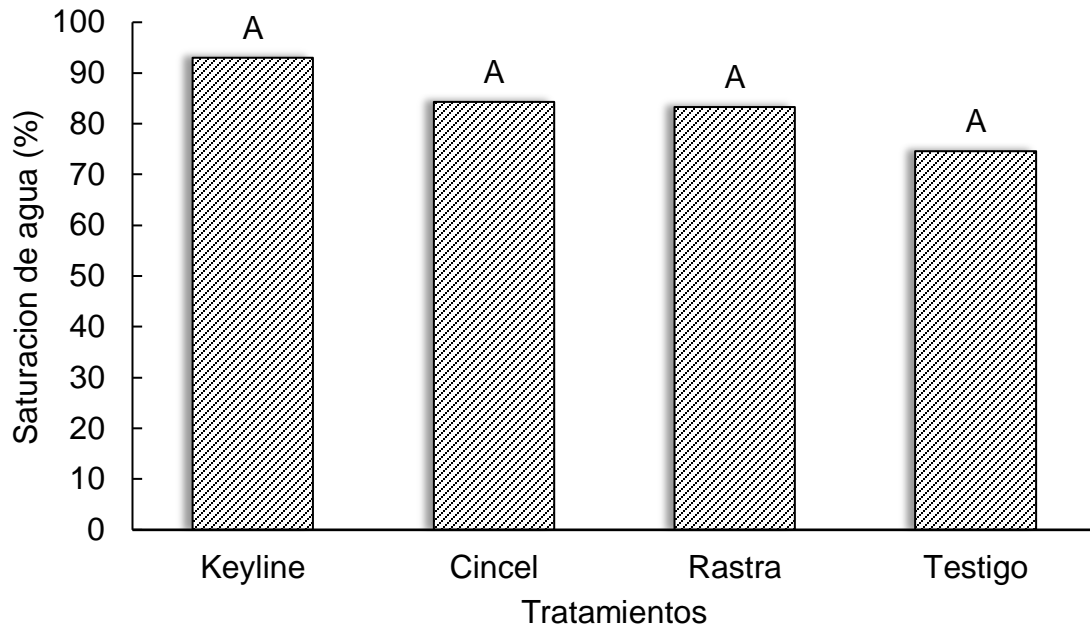
En la tabla 9, se pueden observar los resultados del ANCOVA para la variables porcentaje de saturación de agua.

**Tabla 9.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para el porcentaje de saturación de agua del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>Error Tipo III SS</b>	<b>Media al cuadrado</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloque</b>	6	1057.434298	176.239050	0.80	0.5816
<b>Tratamiento</b>	3	955.549683	318.516561	1.45	0.2634
<b>S% inicial</b>	1	123.226030	123.226030	0.56	0.4611

*Fuente: El autor.*

**Gráfico 5.** Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de saturación de agua en (%) con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \* Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

De acuerdo con los resultados obtenidos, no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, sin embargo, la tendencia de la saturación de agua para el tratamiento de labranza keyline y cincel reportaron los mayores valores respecto de la labranza con rastra y en menor medida el testigo absoluto.

Teniendo en cuenta que esta variable fue una aproximación teórica con base en la densidad aparente, porosidad total, densidad real y humedad gravimétrica, no se vio reflejada un cambio estadístico significativo respecto a los sistemas de labranza que influyeron en las mismas. Cabe mencionar como lo plantea Imhoff *et al* (2010) citado en (Orjuela, Rubiano, & Camacho, 2010), que esta propiedad está definida por la relación entre los tamaños y forma de los agregados, la continuidad



del espacio poroso y la presencia de raíces, las cuales no se tuvieron en cuenta para el cálculo de la misma.

Cabe señalar que, este resultado está correlacionado con la condición inicial del suelo del primer muestreo en época de lluvias, esto quiere decir que los valores obtenidos si bien no reflejaron una diferencia estadística significativa, se debe considerar que para la fecha del segundo muestreo ya se encontraba en época seca, lo cual podría indicar una saturación de agua similar al estado inicial del suelo, teniendo en cuenta el balance hídrico durante el periodo del experimento.

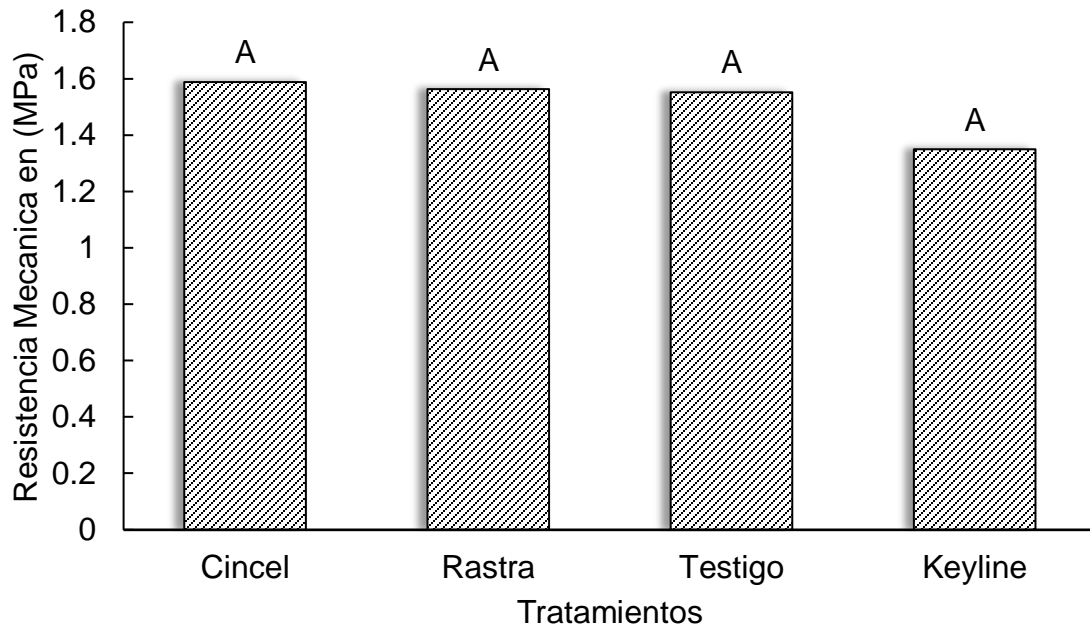
Para la variables resistencia mecánica a la penetración , el ANCOVA realizado, se presenta a continuación en la tabla 10.

**Tabla 10.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la resistencia mecánica a la penetración del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>Error Tipo III SS</b>	<b>Media al cuadrado</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloque</b>	6	0.23508070	0.03918012	0.79	0.5881
<b>Tratamiento</b>	3	0.20333893	0.06777964	1.37	0.2852
<b>RMP inicial</b>	1	0.00005464	0.00005464	0.00	0.9739

*Fuente: El autor.*

**Gráfico 6.** Test de Tukey-Kramer de medias de los datos de resistencia mecánica a la penetración en (MPa) con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \* Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

La resistencia mecánica a la penetración está en relación directa con la humedad gravimétrica, la densidad aparente y la tensión mátrica (Martínez, Landini, Soza, Heredia, & Sainato, 2010), de acuerdo con el gráfico 6, los resultados obtenidos ninguna de las anteriores variables presentó diferencias estadísticas significativas, lo cual reflejó tampoco tuviera cambios importantes, según lo señalado por Baver (1973) citado (Ordúz, Chacón, Linares, & Baquero, 1998), esta propiedad es una de las más adecuadas para la evaluación de la compactación de los suelos por el pisoteo del ganado o labranzas hechas con cinceles y rastras cuando su uso se hace a lo largo del tiempo (Ordúz *et al.*, 1998).

Al estar relacionadas entre sí la resistencia mecánica a la penetración con la densidad aparente y la humedad gravimétrica, sus cambios dependen de la dinámica de estos últimos, es decir que, si bien la humedad del suelo puede ser

menor en los primeros 10 cm del perfil del suelo, lo que aumentaría la resistencia mecánica, no significa que la densidad aparente tenga que ser mayor a esa misma profundidad (Martínez *et al.*, 2010) (Zamora *et al.*, 2006).

Esta información se puede contrastar con los datos descriptivos del ANCOVA, para los valores de DMP en la tabla 11.

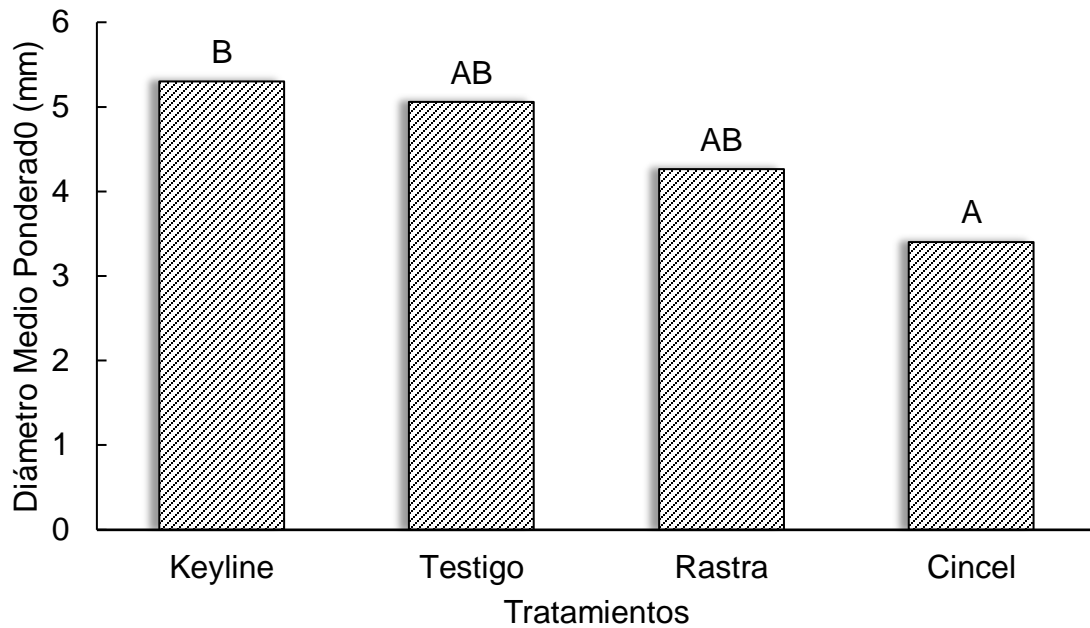
**Tabla 11.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para el diámetro medio ponderado del suelo experimental, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

Fuente	DF	Error Tipo III SS	Media al cuadrado	Valor de F	Pr > F
<b>Bloque</b>	3	7.79902605	2.59967535	3.55	0.0608
<b>Tratamiento</b>	3	8.82445776	2.94148592	4.02	0.0455

Fuente: El autor.

Una de las variables más importantes que se ve afectada por el uso de la labranza, es la estabilidad estructural del suelo, ya que esta es modificada drásticamente por el paso de los implementos agrícolas como se observa en el gráfico 7.

**Gráfico 7.** Test de Tukey de medias de los datos del diámetro medio ponderado con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \* Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

Tal como se observa en el gráfico 7, los resultados obtenidos muestran como los implementos de labranza rastra y cincel presentan los valores más bajos en comparación con el keyline y el testigo. Esto quiere decir el DMP cambia considerablemente respecto al tipo de labranza que se hacen sobre el suelo. Este cambio físico ocurrido en la estructura del suelo persiste en el tiempo y dura más que el ciclo del cultivo, por lo que no logra restaurar su estructura sino hasta un periodo mayor a cuatro años, producto de la agregación hecha por las raíces (Galvis, Chaparro, Bernal, & Baquero, 2016).

Es importante mencionar que la estructura del suelo está ligada al contenido de materia orgánica, textura, temperatura y cobertura vegetal. De acuerdo con lo anterior, estos factores junto con las prácticas de labranzas de tipo horizontal

pueden afectar aún más la estructura (Roth y Pavan, 1991), fragmentando los agregados y oxidando la materia orgánica, como uno de los principales agentes de estabilización de los agregados (Tisdall y Oades, 1982).

Es por esto que los sistemas de labranza de conservación y vertical reflejan en los resultados los mayores valores del DMP para el suelo en estudio, en contraste con la labranza convencional y de cincel vibratorio, como consecuencia de estallamiento y fragmentación de sus agregados. Estos efectos pueden contrarrestarse como la incorporación de materia orgánica, abonos verdes y el uso de prácticas de adecuación para favorecer las condiciones estructurales del suelo (Beare *et al.*,1994).

El ANCOVA para la variable diámetro de cuello se presenta a continuación en la tabla 12.

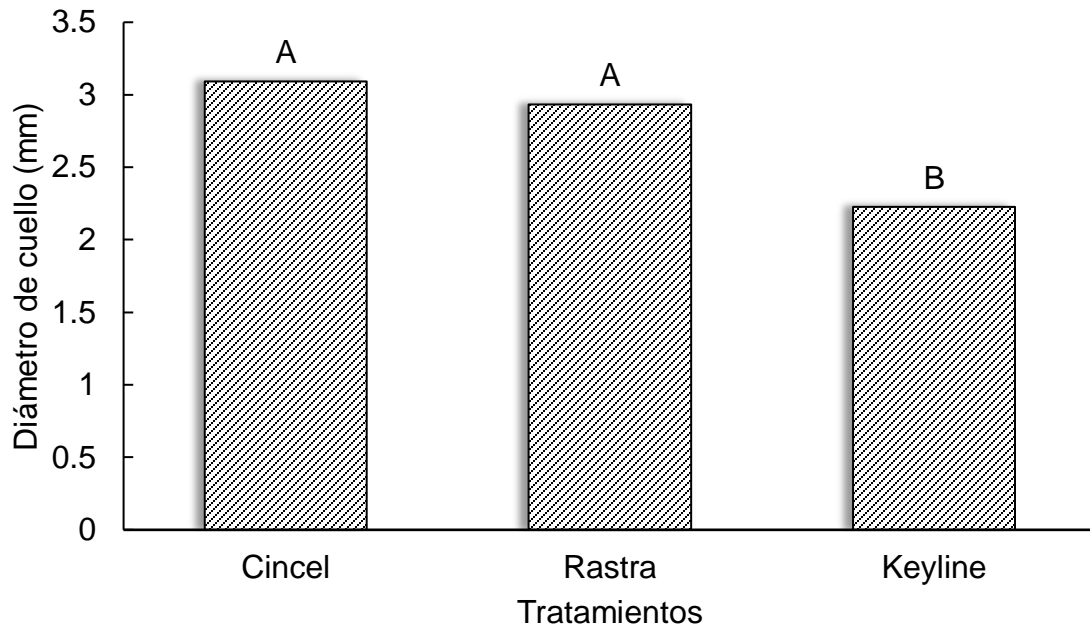
**Tabla 12.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para el diámetro de cuello de la canavalia respecto a los tratamientos establecidos en las unidades experimentales,, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

Fuente	DF	Error Tipo III SS	Media al cuadrado	Valor de F	Pr > F
<b>Bloque</b>	6	1.81782054	0.30297009	0.56	0.7518
<b>Tratamiento</b>	2	12.24229272	6.12114636	11.38	0.0017

Fuente: El autor.

Hay que mencionar, además, que el efecto de los tratamientos tuvo diferencias estadísticas significativas sobre el diámetro del cuello de la canavalia, como se evidencia en el gráfico 8, el cual muestra como el cincel presentó los mayores valores, seguido del rastra y por último el keyline. Esto significa que el estallamiento y desmoronamiento del suelo con el cincel y la rasta propiciaron el buen desarrollo de las raíces de la planta, lo que se ve expresado en sus características morfológicas.

**Gráfico 8.** Test de Tukey de medias de los datos de diámetro de cuello de la canavalia con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \* Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

Debido a estos resultados, los cuales fueron similares para otras variables biométricas, se podría decir que, las adaptaciones morfológicas y fisiológicas están determinadas por las condiciones del suelo y ambientales durante varios periodos de tiempo (Mendoza, Romo, & Medina, 2018), de acuerdo con lo anterior, a lo mejor la canavalia necesita tener mas de un ciclo de cultivo bajo la labranza keyline para poder expresar su potencial productivo al tiempo que se adapta a suelos compactados.

Así mismo, los resultados del ANCOVA para la altura de la canavalia, se presenta a continuación en la tabla 13.

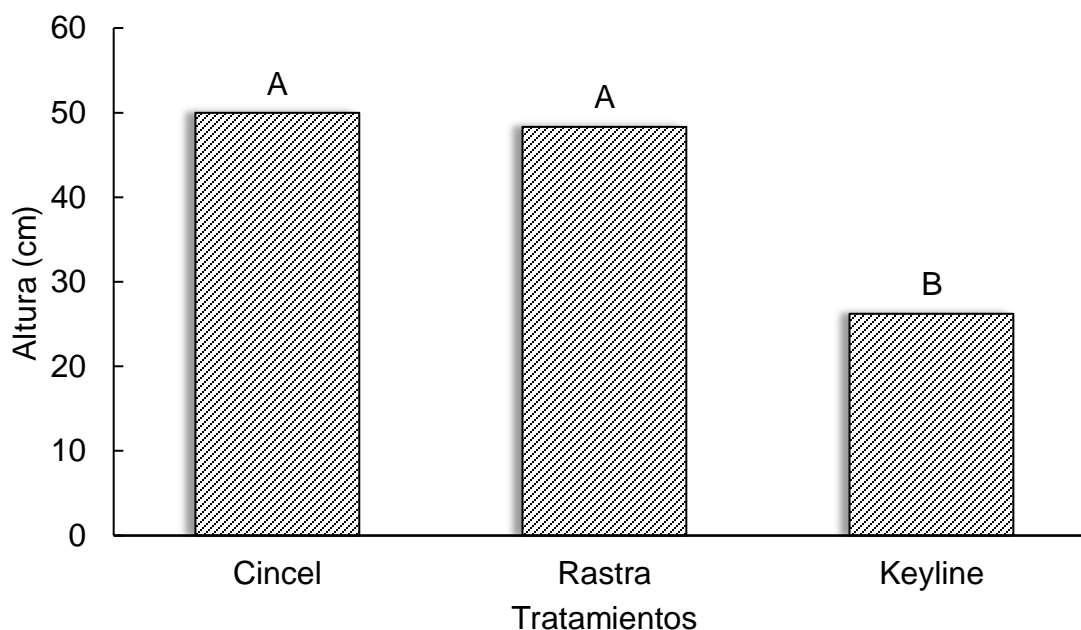
**Tabla 13.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para la altura de la canavalia respecto a los tratamientos establecidos en las unidades experimentales, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

Fuente	DF	Error Tipo III SS	Media al cuadrado	Valor de F	Pr > F
<b>Bloque</b>	6	272.763581	45.460597	0.50	0.8003
<b>Tratamiento</b>	2	2457.003838	1228.501919	13.38	0.0009

Fuente: El autor.

Así mismo, los resultados obtenidos en cuanto a la altura de la planta presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, como se mencionó anteriormente, están ligados al desarrollo radicular que tienen las plantas de canavalia con relación al sistema de labranza al fueron sometidas las unidades experimentales, lo cual indica que las adaptaciones y ventajas solo se pueden ver varios ciclos del cultivo (Mendoza, Romo, & Medina, 2018).

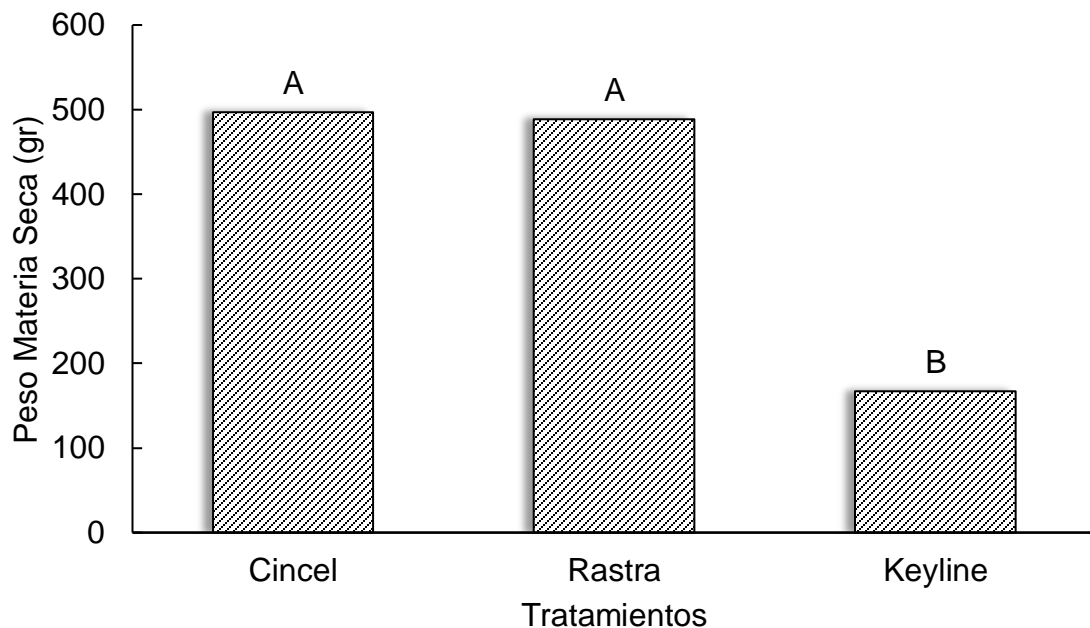
**Gráfico 9.** Test de Tukey de medias de los datos de altura de la canavalia con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \* Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

Para concluir con el análisis de los resultados obtenidos, la variable de respuesta que resume todo lo anterior dicho, es la producción de materia seca de la canavalia, la cual si se aprecia el gráfico 10, se puede corroborar que en definitiva el tratamiento con cincel presentó la mayor tendencia de acumulación, seguida por el rastra, siendo no significativos entre ambos, pero que, frente al keyline que tuvo la menor acumulación de materia seca acumulada si se reflejó su grado de significancia estadística.

**Gráfico 10.** Test de Tukey de medias de los datos de peso de materia seca de la canavalia con relación a los tipos de labranza en un suelo oxisol de la Unidad Rural de la Universidad de los Llanos, sede Barcelona.



Fuente: El autor. \* Los valores con misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas ( $\alpha < 0.05$ ).

Como se aprecia en el gráfico anterior, si se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos establecidos



De acuerdo con el trabajo realizado por Muzilli (1989), la siembra de maíz con adecuación del suelo con cincel obtuvo el mayor rendimiento. Igualmente menciona que para suelos compactados se debe realizar primero una intervención mecánica y luego con especies vegetales que tengan una raíz pivotante y que exploren bastante el subsuelo (Muzilli, 1989).

Así mismo, como lo definió Gordón *et. al.* (1994), que el efecto de la labranza de conservación generó mayores rendimientos que los obtenidos con sistemas de labranza convencional, gracias a la acumulación y disponibilidad del agua lluvia en el suelo durante el ciclo del cultivo, lo cual concuerda con los valores obtenidos con el tratamiento de cincel frente a la labranza convencional, ya que solo se realizó un solo pase en comparación con los seis que se realizaron para el rastra.

Los datos resultados obtenidos del ANCOVA, se presentan a continuación en la siguiente tabla 14.

**Tabla 14.** Datos estadísticos descriptivos del ANCOVA para el peso de materia seca de la canavalia respecto a los tratamientos establecidos en las unidades experimentales, en la Unidad Rural Barcelona de la Universidad de los Llanos.

Fuente	DF	Error Tipo III SS	Media al cuadrado	Valor de F	Pr > F
<b>Bloque</b>	6	99701.9764	16616.9961	5.26	0.0072
<b>Tratamiento</b>	2	503945.2888	251972.6444	79.69	<.0001

Fuente: El autor.

## 9. CONCLUSIONES

La caracterización de las propiedades físicas e hidrogeológicas del suelo experimental permitió establecer cambios e interacciones muy diferentes en un espacio menores a una hectárea, por lo que es importante plantearse formas mas adecuadas para toma de decisiones al momento de realizar algún tipo de cultivo, ya que la alta variabilidad de estas propiedades puede afectar significativamente los resultado esperados, siendo necesario incluir la mayor cantidad de pruebas posibles en el proceso.

El establecimiento de los sistemas de labranza están íntimamente ligados a la forma y resultados que se tenga de la caracterización de sus propiedades, con el fin de lograr adecuar el suelo de la mejor manera posible para el cultivo, al tiempo que se logre minimizar los efectos negativos de estas prácticas agrícolas, promoviendo su conservación y divulgación de dichas técnicas, lo que significa un mayor aprovechamiento del recurso suelo y la mitigación de los efectos climáticos que conlleva su degradación.

Los modelos convencionales de labranza dejan de lado conceptos o factores importantes al momento de definir la labranza, contrario a lo que ocurre con el keyline, el cual se basa en la morfología del terreno, sus propiedades físico-bióticas y medioambientales para establecer el patrón de labranza, lo cual genera efectos positivos, tanto para el cultivo, como para el medio ambiente, basándose en la escala de permanencia con la que se establece el diseño hidrológico.

Los diferentes sistemas de labranza tuvieron una influencia relevante en cuanto a las propiedades hidrogeológicas del suelo, siendo las más significativas, como la porosidad total donde le testigo obtuvo el mayor valor con el 47,1795%, seguido del keyline con 43,0372%, el cincel con 42,078 y por último el rastra con 40,3168%. Para los valores de estabilidad de agregados, el mayor valor lo reportó

el keyline con un diámetro medio ponderado de 5,3013mm, después el rastra con 4,2635mm y de ultimo el cincel con 3,404mm.

En cuanto a las características morfológicas que presentó el frijol canavalia respecto a los sistemas de labranza se puede decir que el mejor tratamiento fue el cincel con un acumulado de materia seca de 497gr, seguido del rastra con 488,71gr y por último el keyline con 166gr. Esto indica que la adecuación del suelo con cincel vibratorio genera un mejor desempeño de la planta con respecto al keyline que utilizó el renovador de praderas, por su impacto en la falta de adaptación de la planta a zonas compactadas o degradadas durante el primer ciclo del cultivo.

## 10. Bibliografía

- Amézquita, E. (1997). <https://cgspace.cgiar.org>. Recuperado el 26 de Enero de 2020, de <https://cgspace.cgiar.org:https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/71991/64145.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amézquita, E. (1998). <https://cgspace.cgiar.org>. Recuperado el 26 de Enero de 2020, de <https://cgspace.cgiar.org:https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/71672/64143.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amézquita, E., D, M., Chávez, L., & Ricaurte, J. (2000). <http://ciat-library.ciat.cgiar.org>. Recuperado el 2 de Febrero de 2020, de [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/degradacion\\_capa\\_arable.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/degradacion_capa_arable.pdf)
- CIAT, CIRAT. (2001). *Agroecología y biodiversidad de las Sabanas en los Llanos Orientales de Colombia*. Cali.
- Collins, A., & Doherty, D. (2008). Soil, water & Carbon for Every Farm. Building Soils, Harvesting, Storing Carbon. 1.14.
- CORPOICA, CIAT, TSBF . (2007). *BASES PARA LA CONSTRUCCION DE SUELOS PRODUCTIVOS A TRAVES DEL DESARROLLO DE UNA CAPA ARABLE EN SUELOS DE SABANAS INFERTILES DEL TROPICO*. Guanajuato, México.
- Galvis, J., Chaparro, O., Bernal, J., & Baquero, J. (2016). <http://hemeroteca.unad.edu.co>. Recuperado el 28 de Enero de 2020, de <http://hemeroteca.unad.edu.co: http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1613/1943>

- Gordón, R., Franco, J., De García, N., & González, A. (1994). <https://revistas.ucr.ac.cr>. Recuperado el 1 de Febrero de 2020, de <https://revistas.ucr.ac.cr>: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/24662/24881>
- Gordon, T. (2016). <https://tooleystrees.com>. Recuperado el 2 de Febrero de 2020, de <https://tooleystrees.com/pcat/34/>
- Gras, E. (2010). *Cosecha de agua y tierras. Diseño con Permacultura* (Vol. 1). Mexico, México D.F., México: Coas.
- IDEAM. (2015). *CLIMA DEPARTAMENTO DEL META*. Bogotá.
- IGAC. (2016). *El Conocimiento de los Suelos y Tierras de la Orinoquia Colombiana*. (IGAC, Intérprete) Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- IMTA. (2013). <http://repositorio.imta.mx>. Recuperado el Febrero de 2020, de <http://repositorio.imta.mx>: <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1681>
- INSTITUTO HUMBOLDT. (2013). *Evaluacion estrategica Ambiental*. Bogotá.
- Jaramillo, D. F. (2002). *INTRODUCCION A LA CIENCIA DEL SUELO*. Bogotá: Unimedios Unal (Medellin).
- Lorenzo, R. (1988). <https://repository.agrosavia.co/>. Recuperado el 28 de Enero de 2020, de [https://repository.agrosavia.co:](https://repository.agrosavia.co/) [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11437/59558\\_51760.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=474](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11437/59558_51760.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=474)
- Malagón, D. (2003). <https://pdfs.semanticscholar.org>. Recuperado el 2 de Febrero de 2020, de <https://pdfs.semanticscholar.org/d058/56b89c869fe5ebaaa8114115a46a5c09fe80.pdf>

- Martínez, D., Landini, A., Soza, D., Heredia, O., & Sainato, O. (4 de Noviembre de 2010). <https://rid.unrn.edu.ar>. Recuperado el 28 de Enero de 2020, de <https://rid.unrn.edu.ar>:  
[https://rid.unrn.edu.ar/jspui/bitstream/20.500.12049/3901/1/2011\\_Mart%c3%adnez\\_Efecto%20pisoteo%20animal%20en%20propiedades%20del%20suelo%20l.pdf](https://rid.unrn.edu.ar/jspui/bitstream/20.500.12049/3901/1/2011_Mart%c3%adnez_Efecto%20pisoteo%20animal%20en%20propiedades%20del%20suelo%20l.pdf)
- Mendoza, M., Romo, R., & Medina, P. (7 de junio de 2018). <http://www.scielo.org.mx>. Recuperado el 1 de Febrero de 2020, de <http://www.scielo.org.mx>: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662018000200058&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662018000200058&script=sci_arttext)
- Muzilli, O. (1989). [www.agrosavia.co](http://www.agrosavia.co). Recuperado el 1 de Febrero de 2020, de [www.agrosavia.co](http://www.agrosavia.co):  
[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11437/59558\\_51760.pdf?sequence=1#page=148](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11437/59558_51760.pdf?sequence=1#page=148)
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Moreira, V., Albán, K., & Morales, F. (24 de Mayo de 2018). <https://dialnet.unirioja.es>. Recuperado el 2 de Febrero de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6587923.pdf>
- Ordúz, J., Chacón, A., Linares, V., & Baquero, J. (1998). <https://repository.agrosavia.co>. Recuperado el 28 de Enero de 2020, de <https://repository.agrosavia.co>:  
[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11437/59558\\_51760.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=474](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11437/59558_51760.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=474)
- Orjuela, H., Rubiano, Y., & Camacho, J. (2010). <https://revistas.udca.edu.co>. Recuperado el 28 de Enero de 2020, de <https://revistas.udca.edu.co>:  
<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/726/765>
- Ossa, A., Trujillo, S., & De la Ossa, J. (2016). <https://www.researchgate.net>. Recuperado el 2 de Febrero de 2020, de

[https://www.researchgate.net/publication/325496866\\_The\\_Savanna\\_formation\\_of\\_great\\_productive\\_value/fulltext/5b11547e0f7e9b49810177ad/The-Savanna-formation-of-great-productive-value.pdf](https://www.researchgate.net/publication/325496866_The_Savanna_formation_of_great_productive_value/fulltext/5b11547e0f7e9b49810177ad/The-Savanna-formation-of-great-productive-value.pdf)

Osuna, E., Benjamin, F., Oleschko, K., María, F., Mario, M., & Félix, G. (Enero de 2006). <http://www.scielo.org.mx>. Recuperado el 24 de Enero de 2020, de <http://www.scielo.org.mx>: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v40n1/1405-3195-agro-40-01-27.pdf>

Rippstein, G., Amézquita, E., Escobar, G., & Grolier, C. (1999). *CONDICIONES NTURALES DE LA SABANA*.

Sass, R., & Taylor, S. (25 de Octubre de 2013). <https://hal.archives-ouvertes.fr>. Recuperado el 2 de Febrero de 2020, de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01234801/document>

Uribe, H., & Rouanet, J. (Octubre de 2002). <https://scielo.conicyt.cl>. Recuperado el 25 de Enero de 2020, de <https://scielo.conicyt.cl>: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0365-28072002000400007&script=sci\\_arttext&lng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0365-28072002000400007&script=sci_arttext&lng=en)

USDA. (1999). *GUIA PARA LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SUELO*. WASHINGTON.

Venialgo, C., Ingaramo, O., Ibane, S., Roldàn, M., Banzhaf, G., & Gutierrez, N. (24 de Enero de 2004). [www.studylib.es](http://www.studylib.es). Recuperado el 24 de Enero de 2020, de [www.studylib.es](http://www.studylib.es): <https://studylib.es/doc/6551826/%C3%ADndice-de-cono--humedad-presente-y-densidad-aparente-en>

Yeomans, P. (1954). <https://soilandhealth.org>. Recuperado el 2 de Febrero de 2020, de <https://soilandhealth.org>: <https://soilandhealth.org/book/the-keyline-plan/>

Yeomans, P. (1958). <https://soilandhealth.org>. Recuperado el 2 de Febrero de 2020, de <https://soilandhealth.org>: <https://soilandhealth.org/book/the-challenge-of-landscape/>