

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL HOYADO
MECANIZADO Y MANUAL EN SUELOS FORESTALES DEL DEPARTAMENTO
DEL VALLE DEL CAUCA

PROYECTO TRABAJO DE GRADO PRESENTADO POR
JULIÁN ANDRÉS RIVERA ARIAS

PROYECTO DE GRADO MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE

CEAD Dosquebradas

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

2017

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL HOYADO
MECANIZADO Y MANUAL EN SUELOS FORESTALES DEL DEPARTAMENTO
DEL VALLE DEL CAUCA

JULIÁN ANDRÉS RIVERA ARIAS

Trabajo de grado presentado para optar al título de
INGENIERO AGROFORESTAL

ASESORA:

LUISA FERNANDA CASAS HERRERA

Docente ECAPMA, Ingeniera Forestal (M. Sc.)



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE

CEAD Dosquebradas

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

2017

Agradecimientos

Para todo estudiante que culmina su pre-grado, es importante reconocer a todas esas personas que se sumaron sin un interés, más que fortalecer el transcurso del aprendizaje significativo durante este proceso.

Agradezco eternamente a Dios por darme la oportunidad de emprender este camino y culminarlo con éxito hasta obtener el grado de Ingeniero Agroforestal; a mi familia Ruby Cardona Toro y Luna Alexandra Rivera Cardona (esposa e hija) mis compañeras de viaje, mi mayor motivación por su apoyo constante en los momentos cómodos y difíciles; también a mi primer núcleo familiar comprendido por mi Madre Socorro Arias, mi Padre Luis Carlos Rivera, mis hermanos Jhon Alexánder Rivera y José Hugo Rivera por el amor incondicional que fortalece el núcleo familiar primario y trasciende hacia la vida cotidiana que emprendimos.

En el ámbito laboral quiero hacer el reconocimiento a los Ingenieros Ramón Antonio Arbeláez, Mg. Mauricio Zapata, Mg. Marcela Zapata y muy especialmente al Ingeniero Mg. Alejandro Castaño por la confianza en potenciar mis capacidades y darme la oportunidad de ponerlas de manifiesto en este y otros procesos de investigación emprendidos en la vida laboral.

Gracias a mis compañeros de Reforestadora Andina, administradores 1 y 2, por el aprendizaje constante en el transcurso de este camino, por el apoyo para el desarrollo de este trabajo que demandó del compromiso y la actitud de cada uno. De igual manera, hago una dedicatoria muy especial a la Ingeniera Luisa Fernanda Casas, docente de la UNAD, quien me acompañó en este proceso de construcción de la Tesis.

Resumen

El efecto de la densidad aparente (DA) del suelo es un restrictivo para obtener rendimientos en el hoyado forestal tanto mecanizado como manual. También la DA es limitante en el desarrollo radicular de los árboles y puede comprometer la productividad de madera proyectada si no se toman medidas correctivas en la preparación del terreno. Este trabajo se desarrolló en tres áreas de estudio dentro de los predios de la compañía Smurfit Kappa Colombia, con el propósito de calcular el rendimiento de la hoyadora mecánica marca Stihl BT 130 con respecto al hoyado tradicional con palín, y realizar el análisis económico para determinar la viabilidad de su implementación operativa. El estudio se desarrolló en lotes de fincas con DA aparente diferente donde se realizó el cálculo los costos totales de la operación mecanizada y manual, y se realizó un análisis estadístico de varianza (ANOVA) para determinar la variabilidad de la actividad mecanizada. Los resultados muestran que en las tres áreas de estudio, el mayor rendimiento en el hoyado se obtiene con la hoyadora mecanizada y hay un ahorro importante en los costos con respecto al hoyado tradicional, aun cuando el factor salarial es mayor con la hoyadora mecánica. El ANOVA muestra una tendencia creciente de la variabilidad con respecto a la media de cada tratamiento a medida que aumenta la DA del suelo.

Abstract

The effect of the apparent density (AD) of the soil is a constraint to obtain productivity in the forested hole mechanized and manual. AD is also limiting in the root development of trees and can compromise the projected wood productivity if corrective measures are not taken in the preparation of the land. This work was developed in three areas of study within the premises of the Smurfit Kappa Colombia company, with the purpose of calculating the performance of the Stihl BT 130 mechanical treadmill with respect to the traditional groove with a pigeon, and perform the economic analysis to determine the feasibility of its operational implementation. The study was developed in lots of farms with different AD where the total costs of

the mechanized and manual operation were calculated, and a statistical analysis of variance (ANOVA) was performed to determine the variability of the mechanized activity. The results reveal that in the three areas of study, the highest performance in the realization of holes is obtained with the mechanized hole and there is a significant saving in costs compared to the traditional hole, even when the salary factor is higher with the mechanical hole. The ANOVA reveals an increasing tendency of the variability with respect to the average of each treatment as the AD of the soil increases.

Palabras clave: Hoyado, rendimiento, suelo, hoyadora, densidad aparente.

Tabla de Contenido

Introducción.....	11
Objetivos	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos.....	13
1 Marco teórico.....	14
1.4 Importancia del Hoyado	15
1.5 Hoyado Tradicional	16
1.6 Hoyado Mecanizado	16
1.8 Control de Calidad del Hoyado	17
1.9 Seguridad Industrial del Hoyado	17
1.10 Máquina Hoyadora Stihl BT 130	17
1.10.1 Datos Técnicos de la Hoyadora	18
1.11 Características del Suelo que influyen en la labor del Hoyado	18
1.11.1 Textura del Suelo.....	19
2 Metodología.....	20
2.1 Cálculo de la Densidad Aparente (DA)	20
2.2 Ubicación y descripción del sitio de la investigación.	21
2.3 Descripción del Área de Estudio	22
2.3.1 Área de Estudio 1 (AE1)	22
2.3.2 Área de Estudio 2 (AE2)	22
2.3.3 Área de Estudio 3 (AE3)	23
2.4 Materiales.....	23
2.5 Descripción de las Variables de estudio.....	23
2.6 Análisis Estadístico	25
3 Resultados	26
3.1 Variable económica.....	26
3.1.4 Análisis Estadístico	28
3.1.4.1 Cálculo de ANOVA y estadísticos descriptivos Hoyado Mecanizado.....	29
3.1.4.2 Cálculo de ANOVA y estadísticos descriptivos hoyado mecanizado	30

3.2 Variable Técnica	31
3.2.1 Análisis Técnico del Hoyado Mecanizado	31
4 Discusión.....	34
4.1 Variable Económica	34
4.2. Variable Técnica	36
4.3 Seguridad.....	37
4.3.1 Análisis de riesgos.....	37
4.4 Propuesta del triángulo de la sostenibilidad	39
4.4.1 Calidad.....	39
4.4.2 Seguridad	39
4.4.3 Productividad	39
5 Conclusiones.....	40
6 Anexos	41
7 Referencias Bibliográficas	44

Listado de Tablas

Tabla 1 Caracterización de las Fincas donde se realiza la investigación	21
Tabla 2 tiempos y movimientos del hoyado mecanizado	23
Tabla 3 tiempos y movimientos del hoyado tradicional	23
Tabla 4 Cálculo de la depreciación de la máquina hoyadora	26
Tabla 5 Cálculo de consumo de combustible por densidad aparente	27
Tabla 6 Análisis comparativo hoyado tradicional y el hoyado mecanizado	27

Listado de Imágenes y gráficos

Imagen 1 Hoyadora Stihl BT-130	18
Imagen 2 Toma de muestras densidad aparente	21
Imagen 3 Toma de muestras densidad aparente	21
Imagen 4 Mapa de ubicación Fincas del área de estudio	22
Imagen 5 Comparativo en las formas del hoyo manual y hoyo mecanizado	31
Imagen 6 Triángulo de la sostenibilidad	39
Gráfico 1 ANOVA Hoyado mecanizado	29
Gráfico 2 ANOVA Hoyado manual	30
Gráfico 3 profundidad de hoyado mecanizado	31
Gráfico 4 diámetro hoyado mecanizado	32
Gráfico 5 profundidad hoyado manual	32
Gráfico 6 diámetro hoyado manual	33

Listado de Anexos

Anexo 1 Formatos para recolección de datos en campo	41
Anexo 2 Fotos evidencia de capacitación	42
Anexo 3 Foto evidencia método para hallar la densidad aparente	42
Anexo 4 Datos de los promedios de hoyos por hora hoyado mecanizado	42
Anexo 5 Datos de los promedios de hoyos por hora hoyado manual	43

Introducción

El trabajo contiene el estudio técnico y económico del hoyado forestal mecanizado y manual realizado en el departamento del Valle del Cauca en predios de la compañía Smurfit Kappa Colombia (SKC)

Tradicionalmente, en muchos proyectos forestales el hoyado forestal se realiza de manera manual con palín, buscando dimensiones de 30 cm de profundo, 30 cm de ancho y 30 cm de largo. En la división forestal SKC se tiene reglamentada estas dimensiones en la ejecución de la actividad.

El estudio parte de la siguiente hipótesis: “la densidad aparente puede influir en los rendimientos por jornal en la actividad de hoyado mecanizado”, de acuerdo a esta variable, se pueden calcular y comparar los rendimientos de la hoyadora mecánica y del hoyado manual. A medida que aumenta la densidad aparente del suelo, menor es el rendimiento de los operarios y mayor es la variabilidad. Hossne, *et al*; (2015) en la investigación hecha en frecuencias de riego del suelo, compactación, porosidad del aire y efectos del esfuerzo cortante sobre el desarrollo de raíces de soja, señala que la humedad es fundamental para el desarrollo radicular de las plantas. Un suelo compacto permite mayor escorrentía, menor infiltración de agua y esto se traduce en menor humedad.

Desde el inicio de la investigación, se trabajó con dos hoyadoras mecánicas de la marca Stihl en busca de encontrar un mecanismo de hoyado que fuera rentable, que se ajustara a los requerimientos de calidad en esta actividad y que funcionara de manera segura sin comprometer la integridad física ni la salud de los operarios.

Posteriormente para darnos cuenta si esta actividad es mas rentable que el hoyado tradicional con palín (porque esta máquina trabaja con combustible y tiene una vida útil limitada), se realizaron mediciones comparativas entre el hoyado mecanizado y

el hoyado tradicional en tres áreas de estudio con suelos de densidad aparente diferente.

Para este estudio se tuvieron en cuenta diferentes factores como densidad aparente del suelo, operario, consumo de gasolina, consumo de aceite 2T; además de variables como hoyos por litro de gasolina, hoyos por hora, horas efectivas de trabajo, tiempos improductivos. También, se halló el ARO (análisis de riesgo por oficio) para la actividad como complemento a los estándares de seguridad para realizar la labor. Otro hallazgo de importancia fue el triángulo de sostenibilidad de la actividad, que permite definir directrices para la implementación teniendo en cuenta los factores de seguridad, calidad y productividad.

Objetivos

Objetivo General

- ✓ Evaluar la factibilidad técnica y económica del hoyado mecanizado y manual con base en estándares de productividad que permitan definir la viabilidad de la implementación operativa en tres fincas situadas en dos municipios del departamento del Valle del Cauca

Objetivos Específicos

- ✓ Realizar el análisis económico comparativo por hectárea del hoyado mecanizado con respecto al hoyado manual en tres fincas situadas en dos municipios del departamento del Valle del Cauca
- ✓ Comparar la viabilidad técnica del hoyado mecanizado versus el hoyado manual en tres fincas situadas en dos municipios del departamento del Valle del Cauca

1 Marco teórico

1.1 ¿Qué es el Suelo?

Según Jaramillo (2002) hay muchos autores que han escrito definiciones del suelo, pero estas definiciones están dadas de manera subjetiva de acuerdo a los intereses que puede tener el autor para estudiar el suelo. Para un constructor puede ser el sitio donde van los cimientos de una casa; para un geólogo puede ser uno de los componentes del ecosistema que estudia. Para Jaramillo (2002), suelo es una capa delgada que puede tener desde pocos centímetros de espesor, hasta metros de material de tierra.

Hillel (1998) define el suelo como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera que está encima y con los estratos que están debajo, que influye el clima y el ciclo hidrológico del planeta y que sirve como medio de crecimiento para una variada comunidad de organismos vivos como plantas, fauna y micro fauna.

1.2 Importancia del Suelo

Los suelos cumplen numerosas funciones que posibilitan producir alimentos, fibras, madera, retener el agua, regular los gases de efecto invernadero etc (Cloter *et al*; 2015). También es importante señalar que el suelo cumple funciones de soporte estructural para la construcción de vías, edificios, casas.

1.3 Hoyado Forestal

El hoyado del suelo es una actividad fundamental para garantizar un sitio adecuado para el buen desarrollo de las plántulas en su inicio de vida. Actualmente el hoyado se realiza de forma manual, buscando dimensiones de 30 cm de profundo, 30 cm de ancho y 30 cm de largo, lo que dificulta que los rendimientos sean altos, teniendo como consecuencia una actividad costosa.

Según Serrada (2008) hay variadas justificaciones para realizar una preparación física del suelo. Entre estas están:

- ✓ Aumentar la profundidad útil del suelo, deshaciendo capas profundas y terrones grandes de tierra mediante acción mecánica, para conseguir una mayor profundización de las raíces
- ✓ Aumentar la capacidad de retención de agua del perfil, a través del aumento de profundidad del sitio.
- ✓ Aumentar la velocidad de infiltración de agua en el perfil del suelo mediante la disgregación fina de las partículas de suelo que posibilite disminuir la escorrentía y por tanto la erosión hídrica.
- ✓ Facilitar la penetración y desarrollo de las raíces de las plantas mejorando temporalmente la permeabilidad mediante las labores, de modo que un sistema radical más extenso pueda compensar la baja fertilidad y las posibles sequías. El repique también aumenta la aireación de las capas profundas del perfil mejorando el ambiente edáfico.
- ✓ Reducir las posibilidades de invasión de arvenses agresivas después de la siembra.

1.4 Importancia del Hoyado

La preparación del suelo debe realizarse aplicando una metodología donde se logre mejorar las condiciones de manera temporal para el desarrollo de las plántulas, que facilite el desarrollo del sistema radicular, que permita la infiltración de agua con un buen repique de las partículas. De Simón (2004) en su publicación "Modelos de la restauración Forestal" sostiene que un suelo con buena textura y estructura y desprovisto de vegetación, la acción de la lluvia cegará los poros con partículas finas reduciendo la infiltración; de ahí, que la protección del suelo debe ser una actividad duradera para evitar el deterioro de este.

La preparación del suelo para el establecimiento de plantaciones forestales para poder sembrar la planta, está justificada en la debilidad y poca edad de las plantas a las que hay que facilitar un sitio con óptimas condiciones para su desarrollo. También se justifica la preparación del suelo de acuerdo a las condiciones edáficas del sitio donde se va a establecer la plantación, debido a que estas pueden ser mejoradas y con ese fin debe ser proyectada la actividad (Serrada, 2008).

1.5 Hoyado Tradicional

Actividad realizada con palín donde se busca dimensiones de 30 cm de profundo, 30 cm de ancho, 30 cm de largo y suelo bien repicado, que garanticen un sitio adecuado para el desarrollo de las plántulas (SKC, 2016).

1.6 Hoyado Mecanizado

Actividad realizada con máquina hoyadora, que funciona con motor, tiene una broca diseñada que tiene estandarizado la profundidad (30 cm) y el diámetro del hoyo (30cm) (SKC, 2016).

1.7 Densidad Aparente (DA)

La DA del suelo es un indicador del grado de compactación de este. A medida que aumenta su valor, más compacto es el suelo, y a medida que disminuye su valor, menos compacto es el suelo. Esta característica afecta las condiciones de humedad del suelo, desarrollo radicular de las plantas, y la productividad de los cultivos. La DA está afectada por partículas sólidas y por el espacio poroso que es determinado por la presencia de materia orgánica en el suelo. A mayor materia orgánica y espacio poroso en el suelo se presenta menor DA y viceversa (Salamanca & Sadeghian, 2005).

Rojas (2012) afirma que con la DA se puede evaluar la resistencia del suelo al desarrollo y elongación de las raíces y para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos que se utilizan en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos.

1.8 Control de Calidad del Hoyado

Parámetros establecidos para medir, evaluar y controlar la calidad del hoyo requerido, y se mide como una variable continua en gráficos de control. Las dimensiones del control de calidad para hoyado manual son: 30 cm de profundo, 30 cm de ancho y 30 cm de largo, además debe quedar bien repicado el suelo. Las dimensiones para el hoyado mecanizado so: 30 cm de profundo y 30 cm de diámetro, con el suelo bien repicado (SKC, 2016).

1.9 Seguridad Industrial del Hoyado

Se entiende como un conjunto de medidas tomadas con el fin de mitigar riesgos, prevenir accidentes y garantizar el trabajo en el área laboral. Las medidas son definir los elementos de protección persona, realizar el análisis de riesgo de la actividad, realizar minutos por la vida o charlas de seguridad. Los Elementos de protección personal usados para realizar el hoyado manual son: Guantes de carnaza, botas con puntera, canilleras, casco con barboquejo y protector facial. Los elementos de protección personal para el hoyado mecanizado son: Guantes tipo ingeniero, botas con puntera, casco con barboquejo, protector facial y auditivo (SKC, 2016).

1.10 Máquina Hoyadora Stihl BT 130

Máquina diseñada por la Stihl para realizar el hoyado mecanizado de acuerdo a las dimensiones establecidas de 30 centímetros de profundidad por 30 centímetros de diámetro. (Stihl Colombia, 2017)

1.10.1 Datos Técnicos de la Hoyadora

Motor: 4T Mix

Cilindraje: 36.3 cc

Potencia: 8500 RPM

Peso: 9.9 Kg.

Intensidad Sonora: 92 Db (A)

Potencia Sonora: 100 Db (A)

Imagen 1 hoyadora Stihl BT-130



Fuente: Distribuidores de equipos de Stihl. Catálogo de productos. Recuperado de: <https://goo.gl/images/wX2wRX>

1.11 Características del Suelo que influyen en la labor del Hoyado

El suelo es una capa delgada, de pocos centímetros hasta algunos metros de grosor, de material terroso, formado en la interfase atmosférica, En esta interactúan elementos de la atmósfera e hidrosfera como el aire, agua, temperatura, viento, etc., de la litosfera como las rocas y sedimentos, y de la biosfera y se realizan cambios de materiales y energía entre lo inerte y lo vivo, generándose una enorme complejidad (Jaramillo, 2002)

1.11.1 Textura del Suelo: Propiedad del suelo que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, tierra fina. Estas partículas Arena, Limo y Arcilla. Se considera que los suelos son arenosos cuando el tamaño de las partículas está entre 2 a 0.05 mm; limoso cuando las partículas están entre 0.05 a 0.002 mm; y arcilloso cuando las partículas miden menos de 0.002 mm (Jaramillo, 2002).

1.11.2 Estructura del Suelo: La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas de arena, limo y arcilla, y cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados. La aireación, porosidad y movilidad del agua varía de acuerdo a la agrupación de estas partículas (FAO, 2016). Se entiende que, si en el agregado el aire y el agua circulan bien, la estructura es buena, de lo contrario la estructura es mala. El estudio solo compromete la alteración de la estructura en sus primeros 35 cm de profundidad.

2 Metodología

El tipo de investigación aplicada en este trabajo es cuantitativo, que permite realizar mediciones objetivas, orientadas al resultado y analizar datos cuantitativos del hoyado manual y mecanizado sobre variables como la densidad aparente de los suelos donde se realizaron las mediciones.

2.1 Cálculo de la Densidad Aparente (DA)

En los lotes se midió la densidad aparente del suelo para analizar los diferentes rendimientos de acuerdo al grado de compactación del suelo. La densidad aparente hace referencia al peso seco del suelo por la unidad de volumen de suelo inalterado, incluyendo el espacio poroso (Rubio, 2010). Para esta toma de muestras de suelos, se usó el método del cilindro. Según Rubio (2010) es el método más sencillo y consiste en tomar un volumen fijo de suelo sin perturbar, y pesarlo una vez seco, por calentamiento en el horno a 105° C durante 24 horas. Para ello se suele utilizar un cilindro metálico con un volumen conocido.

El procedimiento para la toma de muestras de la D.A. fue así: Se tomó un cilindro metálico de 6 cm de altura y 2.5 cm de radio y se halló el área (A) del cilindro:

$$A = \pi * H * r^2$$

H: Altura del cilindro

R: Radio del cilindro

Pi: 3,1416

$$A = 3,1416 * 6cm * 6,25 = 117,81$$

Luego en campo, las muestras se tomaron al azar distribuidas homogéneamente para todo el lote, una muestra cada 4 hectáreas. En cada sitio se tomaron 2 submuestras, una entre los 0 cm a los 20 cm de profundidad ingresando el cilindro de

manera vertical (ver imagen 2), y la otra entre los 20 a los 40 cm de profundidad ingresando el cilindro de manera horizontal (ver imagen 3)

Imagen 2 Sub muestra 1

Imagen 3 Sub muestra 2



Fuente: Foto tomada por Julián Andrés Rivera Arias

2.2 Ubicación y descripción del sitio de la investigación.

La investigación se desarrolló en el área de influencia del proyecto forestal de Smurfit Kappa Colombia, zona centro que comprende el Departamento del Valle del Cauca, en los municipios de Bolívar y Ginebra. Las fincas donde se desarrollaron las áreas de estudio (AE) son: ver Tabla 1.

Tabla 1 Caracterización de las unidades muestrales donde se realiza la investigación

Caracterización área de estudio			
Fincas – Área de Estudio (A.E)	AE 1	AE 2	AE 3
	Finca San José	Finca Carolina	Finca La Mesa
Total Área de las fincas (has)	14,14	19,8	17,5
Área sujeta de estudio (has)	4,8	6,8	2,8
Municipio	Bolívar	Bolívar	Ginebra
Departamento	Valle	Valle	Valle
A.s.n.m.	1940	1948	1861
Precipitación media anual	1786	1954	1734
Pendiente	23%	23%	27%
Zona de vida (Holdrige)	BH-pm	BH-pm	BH-pm
Densidad aparente del suelo	0.58 gr/cm ³	0.70 gr/cm ³	0.83 gr/cm ³

Fuente: Datos suministrados por Smurfit Kappa Colombia (SKC)

La tabla 1 contiene los datos de ubicación y condiciones agro – ambientales de cada área de estudio. La densidad aparente más alta se registra en el área de estudio 3 correspondiente a la Finca la Mesa en el Municipio de Ginebra – Valle.

En la imagen 4 se pueden apreciar los mapas para la ubicación de las fincas donde se realiza la investigación

Imagen 4 Mapa de ubicación Fincas San José, Carolina y La Mesa



Fuente: Imágenes de la ubicación del área de estudio en departamento del Valle del Cauca. Recuperado de:

<http://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones.php?id=24>

2.3 Descripción del Área de Estudio

2.3.1 Área de Estudio 1 (AE1)

El área de estudio 1 de hoyado se desarrolló en la finca San José Lote 27, con un espacio muestral de 14,14 hectáreas, donde se hizo el hoyado Mecanizado en una muestra de 4,8 hectáreas: 2,4 has para hoyado manual y 2,4 has para hoyado mecanizado. Ver tabla 1

2.3.2 Área de Estudio 2 (AE2)

El área de estudio 2 de hoyado se desarrolló en la Finca Carolina, lote 7 de 19,8 has. Se tomaron 6,8 hectáreas para el trabajo: 3,4 hectáreas para hoyado manual y 3,4 hectáreas para hoyado mecanizado. Ver tabla 1

2.3.3 Área de Estudio 3 (AE3)

El área de estudio 3 se desarrolló en la finca La Mesa de Ginebra Valle. El espacio muestral es de 17,5 hectáreas. La muestra o área para el estudio es de 2,8 hectáreas; En 1,4 hectáreas se hizo el hoyado de manera manual, y en 1,4 hectáreas se realizó el hoyado mecanizado. Ver tabla 1

2.4 Materiales

- ✓ Cronómetro
- ✓ Planillas de campo
- ✓ Máquina Hoyadora BT 130 de Stihl con broca
- ✓ Palín y flexómetro
- ✓ Nivel
- ✓ Computador

2.5 Descripción de las Variables de estudio

El trabajo de investigación se realizó tomando datos diarios de tiempos y movimientos de la Hoyadora Stihl BT 130 (ver Tabla 2) y el hoyado manual (ver Tabla 3) en un formato diseñado, se registró horas efectivas trabajadas, tiempos improductivos, distribución porcentual de las paradas, promedio de hoyos por hora, consumo de combustibles (ver Anexo 1) y se realizó la medición de parámetros de calidad en las dimensiones del hoyo.

La medición de hoyos por hora determina en rendimiento por jornal de 8 diarias.

Tabla 2 tiempos y movimientos de la máquina hoyadora

Tiempos y movimientos de la Máquina Hoyadora									
Minutos perdidos en promedio por día	Visitas	Accidentes	Descansos	Lluvia	Paradas preventivas	Llenado de combustible	Recalentamiento	Alistamiento	Total
	4	0	22	16	1	38	0	8	89

Tabla 3 tiempos y movimientos del hoyado manual

Tiempos y movimientos del hoyado manual								
Minutos perdidos en promedio por día	Visititas	Accidentes	Descansos	Lluvia	Paradas preventivas	Afilado	Alistamiento	Total
	4	0	22	15	1	10	9	61

Estas tablas resumen los tiempos improductivos de la máquina hoyadora y el hoyado manual por diferentes situaciones. Se establece que, en un turno o jornal de 8 horas, la actividad de hoyado mecanizado tiene un tiempo operativo de 6.5 horas. El hoyado manual tiene un tiempo operativo de 7 horas. Para hallar los resultados, se tomó este tiempo operativo.

2.4.1 Variables para evaluar la factibilidad económica: Productividad

La productividad se midió con horas efectivas de trabajo día, horas perdidas, promedio de hoyos por hora, consumo de combustibles y depreciación de la máquina hoyadora, en formatos diseñados para tal fin.

2.4.2 Variables para evaluar la factibilidad técnica: Calidad del hoyado

El parámetro de calidad se midió buscando que el hoyo cumpla con los requisitos en las dimensiones (mínimo 30 cm de profundo y 30 cm de diámetro) y el buen repique del suelo. Se considera que el suelo está bien repicado cuando las partículas de este quedan desintegradas en forma de arena, y no en troncos de tierra. Para el hoyado manual las dimensiones requeridas son: 30 cm de profundo, 30 cm de ancho y 30 cm de largo y el buen repique del suelo. Se realizaron parcelas con una intensidad de muestreo del 1%, evaluando 11 hoyos por hectárea tanto para hoyado mecanizado como para hoyado manual, se registraron los datos promedio de cada parcela en Excel y se procedió a graficar los resultados.

2.6 Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó para la variable económica. Se utilizó el programa MINITAB 17 para realizar un análisis de varianza (ANOVA) que permitiera determinar la variabilidad del hoyado tanto mecanizado como manual del promedio de hoyos por hora en cada área de estudio con respecto a la media. Para la variable técnica no se realizó el análisis estadístico debido a que el repique del suelo en el hoyado manual es una variable subjetiva, lo que impide una medición real de esta. El ANOVA se ajusta a la necesidad del trabajo, toda vez que este permite establecer esas variaciones por densidad aparente encontrada por cada tratamiento. Un análisis de varianza consiste en medir la variabilidad de 2 o mas grupos de manera intrínseca, es decir, dentro de un grupo, y de manera extrínseca, es decir, entre varios tratamientos (Tamayo, 2010)

3 Resultados

3.1 Variable Económica

3.1.1 Cálculo de depreciación de la Máquina Hoyadora

Para hacer el cálculo de rendimientos de la máquina y así establecer el valor del deterioro a pagar, se halló el desgaste total de la máquina. Ver tabla 4. Posteriormente se calculó en valor del jornal al destajo del hoyado manual. Con esta tabla se hace la comparación de la actividad mecanizada versus la actividad tradicional o manual.

Tabla 4 Cálculo de depreciación de la máquina

DEPRECIACIÓN DE LA MÁQUINA HOYADORA STIHL BT 130					
Repuesto	Unidades	Vida Útil Horas	Precio antes de IVA	Total	\$ Hetárea
Máquina hoyadora BT130	1	7128	\$ 1.681.034	\$ 1.950.000	\$ 3.799
Brocas	1	1200	\$ 215.517	\$ 250.000	\$ 2.893
portabrocas	1	11880	\$ 344.828	\$ 400.000	\$ 468
Piston + Anillos	1	2500	\$ 163.879	\$ 190.100	\$ 1.056
Cigüeñal	1	4752	\$ 484.568	\$ 562.099	\$ 1.643
Válvulas del Motor	2	800	\$ 47.412	\$ 54.998	\$ 955
Filtro de Aire	1	500	\$ 17.241	\$ 20.000	\$ 555
Yoyo de encendido	1	4752	\$ 64.655	\$ 75.000	\$ 219
Kit de carburación	1	800	\$ 71.551	\$ 82.999	\$ 1.441
Bujía	1	800	\$ 15.775	\$ 18.299	\$ 318
Casco con careta	1	4752	\$ 200.000	\$ 232.000	\$ 678
Filtro de Combustible	1	500	\$ 7.672	\$ 8.900	\$ 247
Agujas Tornillo ralenti (2)	1	800	\$ 19.956	\$ 23.149	\$ 402
Mantenimiento	1	500	\$ 60.000	\$ 69.600	\$ 1.933
TOTAL					\$ 16.607

Fuente: Valores suministrados por Stihl y calculados en base al desgaste en campo

Esta tabla determina el desgaste total de la máquina hoyadora por hectárea, debido a que la hectárea es la unidad a contratar. Los precios que aparecen son los que se establecieron por la empresa Stihl para el año 2017

3.1.2 Consumo de combustible de la Máquina Hoyadora

Se calculó el consumo de combustible de acuerdo a los rendimientos obtenidos por cada densidad aparente (Ver tabla 5)

Tabla 5 Cálculo de consumo de combustible por densidad aparente (D.A)

Consumo de Combustible				
D.A	Gasolina/ha (gal)	Aceite/ha (L)		Costo total
0.58 gr/cm ³	1,39	0,11	\$	12.023
0.70 gr/cm ³	1,54	0,12	\$	13.321
0.83 gr/cm ³	2,26	0,17	\$	19.549

Realizar el cálculo de consumo de combustible por densidad aparente es importante porque el valor del combustible aumenta a medida que aumenta la densidad aparente de suelo y es fundamental tener el dato preciso para un proceso de contratación de la actividad.

3.1.3 Estudio Económico Comparativo

Se realizó el estudio comparativo entre el hoyado manual y el hoyado mecanizado con el propósito de establecer las diferencias económicas de la operación y concluir la viabilidad. (Ver tabla 6)

Tabla 6 Análisis comparativo entre el hoyado tradicional y el hoyado mecanizado (AE: área de estudio; DA: densidad aparente; HT: hoyado tradicional; HME: hoyado mecanizado)

ANÁLISIS COMPARATIVO HOYADO TRADICIONAL (HT) VS HOYADO MECANIZADO (HM) (ha)						
Item.	AE 1		AE 2		AE 3	
	D.A: 0,58 gr/cm ³		D.A: 0,7 gr/cm ³		D.A: 0,83 gr/cm ³	
	HT	HME	HT	HME	HT	HME
Rendimiento Has ./ Jornal	0,20	0,51	0,18	0,47	0,14	0,29
Rendimiento Jorn. / Ha	5,05	1,94	5,42	2,14	7,41	3,41
Vida Útil (años)	0,85	3,00	0,70	3,00	0,70	3,00
Hoyos por Hora	31	88	29	80	21	50
Factor salarial	1,00	1,30	1,00	1,30	1,00	1,30
Total Herramienta + Combustible	\$ 793	\$ 33.422	\$ 793	\$ 33.361	\$ 793	\$ 41.160
Mano de Obra Contratista	\$ 301.300	\$ 151.699	\$ 323.346	\$ 166.869	\$ 441.906	\$ 266.702
Total Herramienta + M.O	\$ 302.093	\$ 185.121	\$ 324.139	\$ 200.230	\$ 442.699	\$ 307.862
Diferencia	\$ 116.972		\$ 123.909		\$ 134.837	

La tabla 6 describe los rendimientos obtenidos realizando la operación con el método manual y el método mecanizado en cada área de estudio, logrando encontrar diferencias significativas porque que concluyen con una operación mecanizada más rentable sobre el hoyado manual en cada área de estudio.

En el área de estudio 1 (San José), se logró obtener una diferencia de \$116.972 a favor del hoyado mecanizado, en suelo con una densidad aparente de 0.58 gr/cm³; se registró un ahorro de 3,1 jornales por hectárea.

En el área de estudio 2 (Carolina), se logró obtener una diferencia de \$123.909 a favor del hoyado mecanizado, en suelo con una densidad aparente de 0.7 gr/cm³; se registró un ahorro de 3,28 jornales por hectárea.

En el área de estudio 3 (La mesa), se logró obtener una diferencia de \$134.837 a favor del hoyado mecanizado, en suelo con una densidad aparente de 0.83 gr/cm³; hay un ahorro de 4 jornales por hectárea.

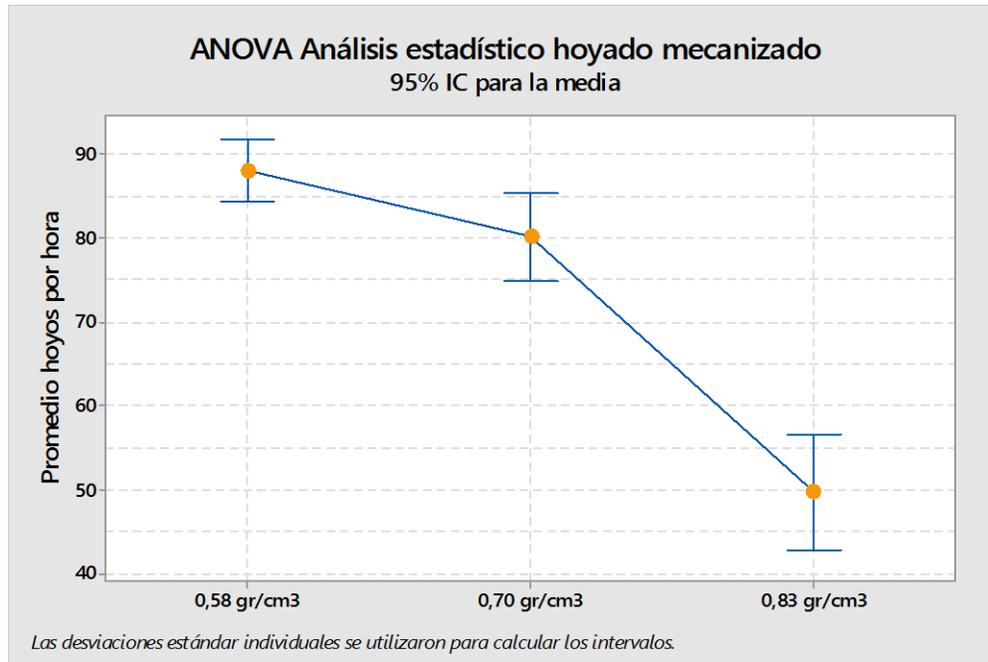
3.1.4 Análisis Estadístico

Para analizar la información, se tomaron los promedios de hoyos por hora en cada área de estudio y por medio de la herramienta Minitab, se construyó el ANOVA para determinar la variabilidad. (Ver gráfico 1).

Los datos obtenidos de los promedios de hoyos por hora se realizaron tanto para el hoyado manual como para el hoyado mecanizado en cada finca donde se realizó la medición de los datos de la investigación (Ver anexo 4 y 5)

3.1.4.1 Cálculo de ANOVA y estadísticos descriptivos Hoyado Mecanizado

Gráfico 1 ANOVA para el hoyado mecanizado

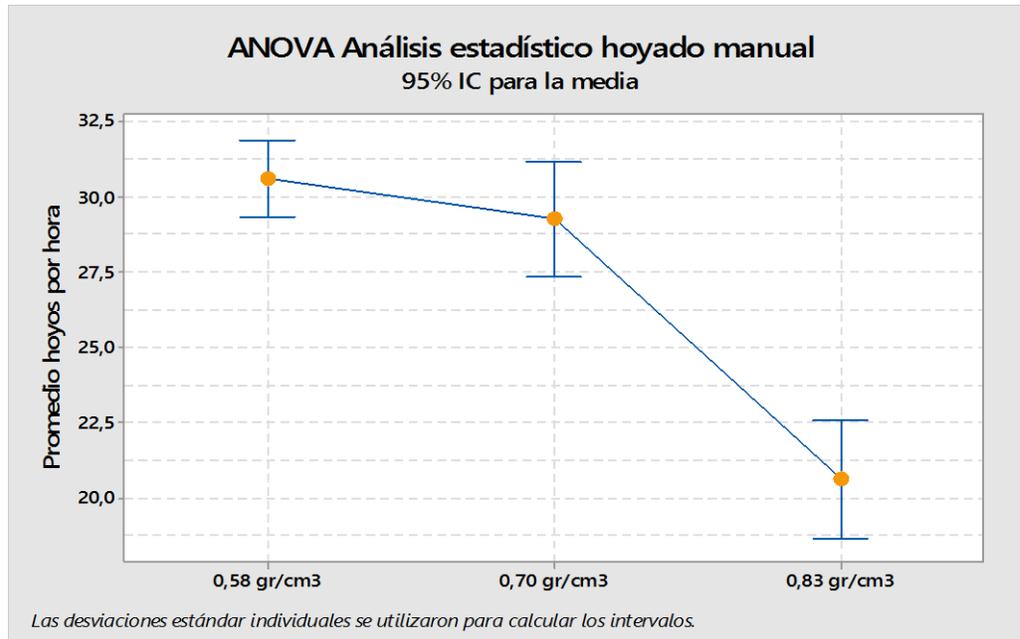


Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	suma de cuadrados	Mínimo	Máximo	Asimetría
0,58 gr/cm ³	88,00	3,00	9,00	38756,00	85,00	93,00	1,48
0,70 gr/cm ³	80,14	5,73	32,81	45157,00	75,00	88,00	0,57
0,83 gr/cm ³	49,65	8,21	67,41	20196,35	39,00	60,00	0,02

Los datos anteriores describen el cálculo hallado en el software Minitab de los estadísticos descriptivos para cada tratamiento, lo que permite hacer un análisis de variabilidad apoyado en el gráfico. Como lo muestra el gráfico, la varianza para el tratamiento 2 y 3 es más alta a comparación del tratamiento 1; Posiblemente la razón está en la destreza del operario, densidad de raíces del turno anterior, condiciones de pendiente, palizadas etc. La varianza en las medias puede aumentar a medida que la densidad aparente del suelo aumenta. En un lote, a mayor densidad aparente, mayor variabilidad se puede presentar. Entre las AE 1 y 2, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a las medias y a los intervalos de confianza.

3.1.4.2 Cálculo de ANOVA y estadísticos descriptivos hoyado mecanizado

Gráfico 2 ANOVA para hoyado manual



Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma de cuadrados	Mínimo	Máximo	Asimetría
0,58 gr/cm ³	30,596	2,287	5,230	14115,118	26,800	34,000	-0,36
0,70 gr/cm ³	29,250	2,989	8,932	10365,000	25,000	35,000	0,54
0,83 gr/cm ³	20,601	4,637	21,501	10680,347	11,143	28,000	-0,10

Este gráfico muestra que tanto para hoyado manual como para hoyado mecanizado, la D.A es la variable de mayor influencia en el rendimiento promedio por hora de hoyado. Sin embargo, la varianza es menor si se compara con el hoyado mecanizado.

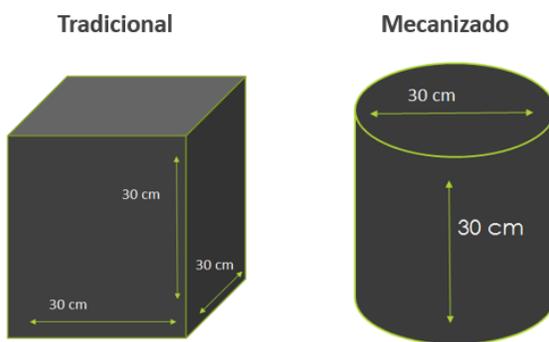
La razón de hacer comparaciones de hoyado tradicional y mecánico en lotes con las mismas características topográficas, las mismas condiciones de palizadas, la misma densidad aparente, la misma pendiente y especie de turno anterior, es lograr resultados de alta precisión y confiabilidad en los análisis estadísticos.

3.2 Variable Técnica

3.2.1 Análisis Técnico del Hoyado Mecanizado

El análisis técnico se realizó buscando que el hoyo realizado con la hoyadora Stihl BT 130 tuviera dimensiones similares al hoyo realizado de manera tradicional con palín.

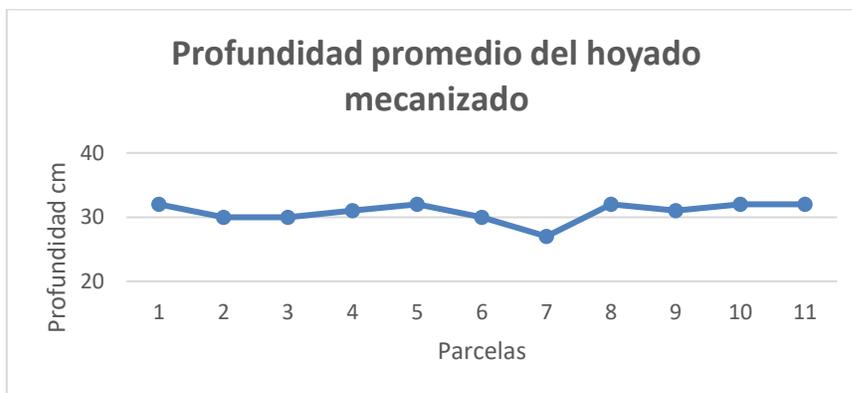
Imagen 5 comparativo de formas del hoyado tradicional y mecanizado



Fuente: Diseño realizado por Julián Andrés Rivera Arias

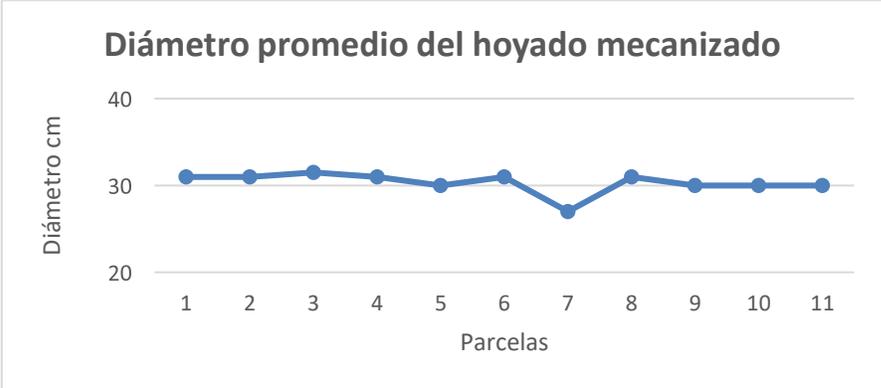
Para verificar la factibilidad técnica, se realizaron parcelas con una intensidad del 1% midiendo las profundidades y los diámetros de cada hoyo realizado con hoyadora. Se procedió a graficar los datos obtenidos. Ver gráfico 3

Gráfico 3 Promedio profundidad de los hoyos



Los promedios en la profundidad apuntan a que el hoyo cumple con los requerimientos técnicos mínimos exigidos en el hoyado tradicional. En algunos sitios se puede llegar a tener profundidades por debajo del estándar debido a problemas de rocas, densidad de raíces del turno anterior y tamaño de estas.

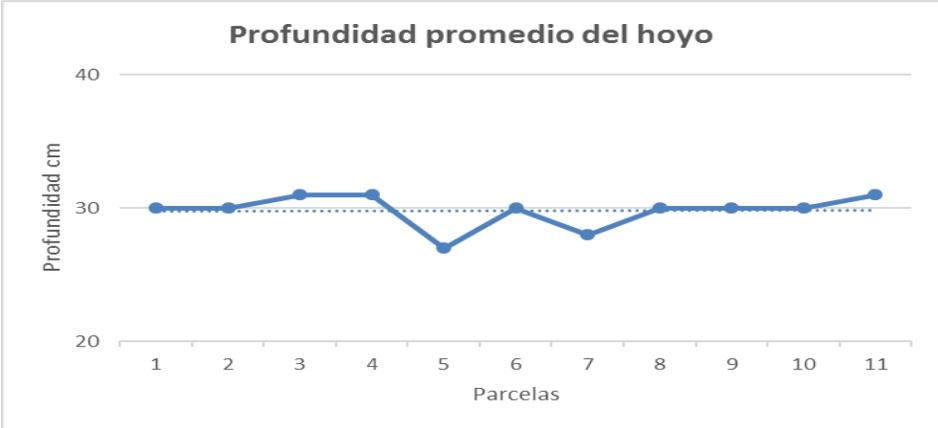
Gráfico 4 Diámetro promedio del hoyo



Este gráfico demuestra que el diámetro promedio de los hoyos se sitúa sobre los 30 cm, logrando así cumplir con las exigencias técnicas del hoyado forestal mecanizado dentro de la SKC

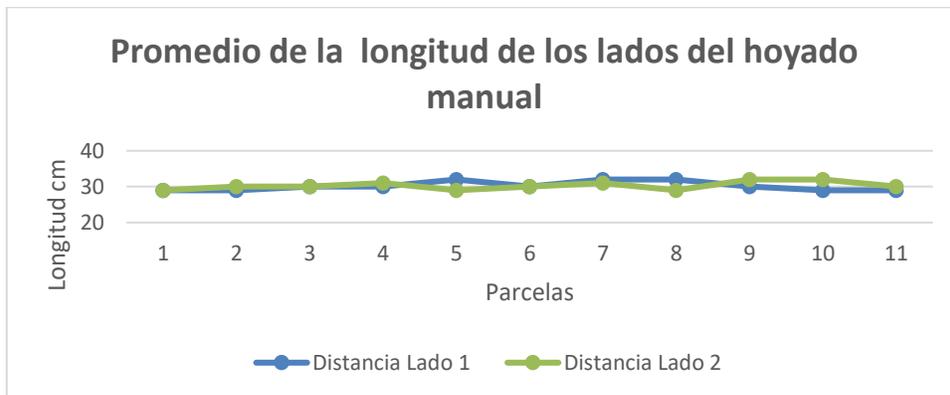
3.2.2 Análisis técnico Hoyado Manual

Gráfico 5 Profundidad promedio del hoyo



El promedio registrado en la profundidad del hoyado manual cumple con los requerimientos técnicos mínimos exigidos en el control de calidad de la actividad. En algunos sitios se puede llegar a tener profundidades por debajo del estándar debido a problemas de rocas, densidad de raíces del turno anterior y tamaño de estas.

Gráfico 6 Diámetro promedio del hoyo



Este gráfico demuestra que la longitud promedio de los lados de los hoyos se sitúa sobre los 30 cm, logrando así cumplir con las exigencias técnicas del hoyado forestal realizado de forma manual dentro de la compañía SKC

4 Discusión

4.1 Variable Económica

La densidad aparente es una variable fundamental para los reforestadores que contratan el establecimiento de sus plantaciones, puesto que esta permite determinar el valor de los contratos en la actividad de hoyado mecanizado ya que es diferente realizar la actividad para suelos livianos que para suelos pesados por la demanda de jornales que requiere cada tipo de suelo con respecto a su D.A.

Tener en cuenta la D.A para contratar actividades de hoyado no solo es aplicable para el establecimiento de plantaciones forestales; también aplica para otros cultivos. Según Rodríguez y Guerrero (2002) en la preparación de un cultivo de plátano se debe tener en cuenta las dimensiones del hoyo de acuerdo a la textura del suelo; entre mas arcillosos, mayor debe ser las dimensiones de este, y el alto contenido de arcillas es una propiedad obligada de una alta densidad aparente (Jaramillo, 2002).

La D.A. del suelo es una característica que tiene una alta influencia en la productividad de los cultivos asociado a otras propiedades del suelo, y además está relacionado con la disponibilidad de nutrimentos en el suelo. (Salamanca & Sadeghian, 2005).

Según lo encontrado en campo, el hoyado mecanizado se lleva menos mano de obra que el hoyado con palín, lo que garantiza menos personal por hectárea y así se puede liberar mano de obra para otras actividades de igual importancia. Además, se constituye como el método más económico para realizar el hoyado forestal, con diferencias considerables a la hora de establecer una plantación comercial, pues en los datos obtenidos en el análisis económico el hoyado mecanizado resultó ser menos costoso que el hoyado manual. En suelo con D.A hasta 0.7 gr/cm^3 se puede establecer un valor unitario por hectárea para el hoyado mecanizado, pues las diferencias no son muy significativas en cuanto al promedio de hoyos por hora y el costo de la mano de obra más la herramienta. Es importante resaltar que la

operación mecanizada aumenta la calidad de vida del personal forestal debido a que el factor salarial pasa de 1.0 smlv a 1.3 smlv. Es posible que estos resultados se apliquen para otros cultivos, como el café y el cacao.

Bedoya (2014) en el informe final trabajo de grado modalidad de pasantía en Tablemac, afirma que el hoyado mecanizado presenta rendimientos mas altos que el hoyado manual, no obstante, se muestra que los datos fueron recolectados por ciclos de tiempo muy cortos, no se muestra un análisis de tiempos y movimientos de la herramienta y no hay un cálculo de la densidad aparente de suelos donde se llevó a cabo la recolección de datos. El rendimiento del hoyado manual y mecanizado en los predios de Tablemac no son comparables con los de SKC debido a que la densidad de siembra es de 1666 árboles por hectárea, lo que indica que se realizan 1666 hoyos por hectárea; para SKC la densidad de siembra es de 1111 árboles por hectárea, es decir, 1111 hoyos por hectárea.

Ríos & Parra (2012) sostiene que hay un sobre costo del 30% de la operación mecanizado comparada con la operación de hoyado manual. Sin embargo, los ciclos de toma de datos son ciclos muy cortos de 60 minutos continuos y registrando datos cada dos minutos, por lo que, al traspalar al jornal real, se puede estar subvalorando o sobrevalorando los rendimientos y costos. Además, no hay un comparativo que demuestre técnicamente la calidad del hoyado mecanizado con respecto al hoyado manual. En el comparativo de rendimiento por hora de hoyado mecanizado, los datos son similares al encontrado en este trabajo de investigación con un promedio de 85 hoyos por hora.

En suelos con densidad aparente menor a 1gr/cm^3 no es recomendable el uso de tractor para arado y subsolado del suelo por las consecuencias futuras en la degradación de la estructura del suelo, limitando los espacios porosos para el almacenamiento y movimiento del aire y del agua en el suelo (FAO, 2016). Según la FAO (2016) la degradación de la estructura del suelo es una reducción del espacio poroso entre los agregados. El suelo compactado reduce los espacios

necesarios para el almacenamiento y movimiento del aire y el agua del suelo. Más importante aún es que los grandes poros continuos del suelo tienden a perderse con el tiempo en sus dimensiones generando un movimiento lento del agua y a una aireación limitada. El crecimiento de las raíces y de la micro fauna del suelo también se ven afectadas (FAO 2016)

4.2. Variable Técnica

El hoyado en plantaciones forestales de SKC requiere realizar un control estricto en la calidad. Esta calidad evalúa parámetros de dimensiones en el diámetro, profundidad y repique del suelo. El hoyado mecanizado estandariza el diámetro de los hoyos y la profundidad se controla al operario; El repique del hoyado mecanizado es mucho mas fino, desintegrando el suelo en partículas muy pequeñas, garantizando un sitio adecuado para el desarrollo radicular con respecto al hoyado manual, donde es muy difícil desintegrar con eficiencia el suelo. (SKC, 2016).

En el análisis técnico, no se encontraron diferencias significativas en los datos obtenidos en la medición de los lados del hoyado realizado de manera manual, y en el diámetro del hoyado mecanizado. Ambas mediciones se situaron sobre los 30 centímetros cumpliendo con los requisitos mínimos exigidos por la compañía SKC.

En la medición de la profundidad no se encontraron diferencias significativas en los datos obtenidos en las parcelas medidas tanto para el hoyado manual como para el hoyado mecanizado, puesto que, en ambas, el promedio de profundidad es de 30 cm.

La diferencia técnica más significativa encontrada en el hoyado está en el repique del suelo. La hoyadora deja el suelo con un repique mucho más fino, favoreciendo las condiciones para el desarrollo radicular de las plántulas a sembrar. Ríos & parra (2012) señalan que las paredes de corte con hoyadora mecánica son de forma homogénea, regular y garantizan un volumen apropiado para la ocupación de sitio.

4.3 Seguridad

Dentro del trabajo desarrollado en cada finca, se pudieron establecer estándares para realizar la operación de manera segura. Estos estándares pueden conducir a mitigar los riesgos de accidentes o enfermedades laborales y logran mantener la integridad de los operarios.

Los riesgos potenciales detectados son: Manejo de equipo con motor de 4 tiempos Mix, vibratorio y de impacto, peso del equipo, obstáculos, y superficies irregulares en el área de trabajo, presencia de animales y plantas, factores climáticos, factor Psicosocial.

4.3.1 Análisis de riesgos: Se realizó la construcción del Análisis de riesgo del oficio (ARO), determinando los principales riesgos y las medidas preventivas.

ARO (Análisis de riesgo por Oficio)		
RIESGO	CONSECUENCIA	MEDIDA PREVENTIVA
Mecánico	Atrapamiento, punción, golpes, traumas, golpes	<ul style="list-style-type: none"> - Trabajar libre de collares, cordones amarrados, camisa bien abotonada - Mantenga sus pies a una distancia mínimo de 30 cm con respecto a la punta externa del giro del aspa. - Cerciórese del buen estado de los dispositivos de seguridad del equipo. (Bloqueo de seguridad). - Al posicionarse ubique sus pies libres de obstáculos en un lugar firme. - Al encender la máquina (cuerda y yoyo), ponga la máquina en el suelo, ponga un pie en la manigueta, con una mano sostiene la máquina y con la otra el yoyo, no dé la espalda a la pendiente, active el freno de seguridad, y gire levemente su tronco sosteniendo en todo su recorrido el yoyo. - Comience la operación con desplazamientos desde abajo hacia arriba en curvas de nivel.
		- Al iniciar la perforación ubíquese por encima de la pendiente, y vaya bajando a medida que el barreno va

Biomecánico	lumbalgias, fatiga muscular, espasmos, trastornos óseo musculares.	<p>perforando, con el propósito de estar siempre a nivel de la máquina.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flexione las rodillas y mantenga su espalda recta el momento de la inserción del aspa. - Realiza pausas activas de calistenia y estiramiento e hidratación en los tiempos definidos por el supervisor o líder, realice relevos con su compañero de trabajo en caso de ser necesario.
Físico	Por el ruido y la vibración que puede provocar problemas auditivos y movimientos repetitivos inconscientes de las manos	<ul style="list-style-type: none"> - Haga uso de su protección auditiva, reporte de inmediato cualquier daño o anomalía con los mismos. -Asegúrese del buen estado del sistema de amortiguación y del exosto-silenciador de la máquina, reporte de inmediato cualquier daño o anomalías en el equipo. - Realiza pausas activas de calistenia y estiramiento en los tiempos definidos por el supervisor o líder, hidrátase constantemente, realice relevos con su compañero de trabajo en caso de ser necesario. -Al detectar materiales que impidan la perforación y rotación de las aspas, detenga la actividad, retire la broca flexionando rodillas y manteniendo la espalda recta, con el freno activado antes de que salga la broca.
Biológico	Heridas, picaduras, mordeduras, alergias por animales o insectos.	<ul style="list-style-type: none"> - Haga uso en todo momento de su dotación, (camisa de manga larga, pantalón y botas). - Haga uso de sus EPP botas, guantes, casco con protección visual y auditiva. - Reporte la presencia de animales ponzoñosos y plantas urticantes a sus compañeros y supervisor
Locativo	Superficies irregulares, pendientes, terrenos húmedos, lisos e inestables, palizadas estacas y tocones.	<ul style="list-style-type: none"> -Transite por rutas definidas y seguras (senderos, caminos), en el tránsito en el lote rodee obstáculos que puedan presentarse.
Químico	Químico irritación ocular, respiratoria o dérmica.	<ul style="list-style-type: none"> -Siga las recomendaciones de las fichas técnicas de las sustancias combustibles. - Aplique las instrucciones del mantenimiento del proveedor del equipo. -Use guantes y tapabocas para la manipulación de combustibles

4.4 Propuesta del triángulo de la sostenibilidad

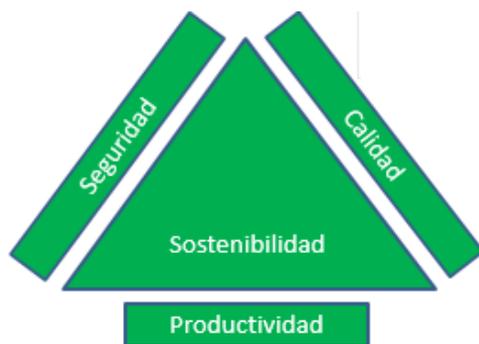
Dentro de este trabajo de investigación se halló el triángulo de la sostenibilidad (ver imagen 6), donde se proponen tres factores fundamentales para realizar la actividad del hoyado mecanizado y garantizar que sea sostenible:

4.4.1 Calidad: Este factor evalúa las dimensiones requeridas para realizar los hoyos en diámetro y profundidad; además evalúa el repique del suelo. Un hoyo con estándares de calidad garantiza el excelente desarrollo radicular en los primeros meses de vida del árbol. Ver imagen 6

4.4.2 Seguridad: La seguridad es un factor indispensable para desarrollar la actividad de hoyado; exige desarrollar propuestas y estándares para desarrollar la actividad de manera segura, sin comprometer la vida, la salud y la integridad física del operario. Ver imagen 6

4.4.3 Productividad: Esta actividad se desarrolla buscando aumentar los rendimientos y los ingresos tanto para el operario como para los reforestadores. Ver figura 6. Es importante destacar que la ausencia de alguno de estos factores, no permite que la actividad sea sostenible en su implementación, y limita el desarrollo de esta. Es decisión de cada reforestador su implementación.

Imagen 6 Triángulo de la sostenibilidad de la actividad de Hoyado Mecanizado



5 Conclusiones

- ✓ Se obtiene como resultado mayor efectividad de la hoyadora por encima del método tradicional, en rendimiento de hoyos por jornal y economía en la actividad. Con D.A. de 0.58 gr/cm^3 el rendimiento del hoyado manual es inferior con respecto al mecanizado con una diferencia de 3.11 jornales. En D.A. de 0.70 gr/cm^3 el hoyado mecanizado por hectárea requiere de 3.28 jornales menos que el hoyado manual por hectárea. D.A. de 0.83 gr/cm^3 el hoyado mecanizado por hectárea requiere de 4 jornales menos con respecto al hoyado manual.
- ✓ La actividad mecanizada es más rentable que la actividad tradicional y esto puede significar un ahorro en costos para los reforestadores en el establecimiento de plantaciones forestales. En D.A. de 0.58 gr/cm^3 el ahorro está calculado en \$116.972 por hectárea; en D.A. de 0.70 gr/cm^3 se puede obtener un ahorro de \$123.909 por hectárea; y en D.A. de 0.83 gr/cm^3 se puede lograr un ahorro de \$134.837 por hectárea
- ✓ Para la comunidad del conocimiento es recomendable realizar investigaciones de tipo financiero y técnico integrando el hoyado manual, hoyado mecanizado con hoyadora y subsolado con tractor, con el propósito de verificar si hay diferencias en la obtención de volumen de madera comparando los tres tipos de hoyado (donde hay mayor productividad); verificar con qué tipo de hoyado se logra obtener mayor homogeneidad en diámetro y altura de las plantaciones, para lograr mayor co-dominancia y dominancia en los rodales

Anexo 2 Fotos evidencia de capacitación



Anexo 3 Foto evidencia toma de muestras de suelo para hallar la densidad aparente



Anexo 4 Tabla del promedio de hoyos por hora de hoyado mecanizado

Datos promedio hoyos por hora para hoyado mecanizado		
Densidad Aparente		
0,58 gr/cm3	0,70 gr/cm3	0,83 gr/cm3
88	88	60
93	76	55
87	77	55
87	83	43
85	87	44
	75	43
	75	58
		39

Anexo 5 Tabla del promedio de hoyos por hora de hoyado manual

Datos promedio hoyos por hora para hoyado manual		
Densidad Aparente		
0,58 gr/cm3	0,70 gr/cm3	0,83 gr/cm3
31	31	25
29	33	24
32	25	24
33	29	24
32	29	24
28	26	17
27	28	18
29	35	19
27	32	17
29	29	25
32	27	26
33	27	21
32		18
31		15
34		27
		28
		17
		26
		22
		16
		15
		17
		11
		18

7 Referencias Bibliográficas

- ✓ Rubio Gutiérrez. A. M, (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. Tesis de Grado Universidad de Sevilla
- ✓ Serrada Hierro. R, (2008). Módulo 9 de revegetación. La preparación del suelo en la repoblación vegetal. Universidad Politécnica de Madrid.
- ✓ De Simón. E, (2004). Aspectos hidrológicos de las repoblaciones y de la forestación de tierras agrarias. Modelos de la restauración forestal.
- ✓ FAO. (2016). <ftp://ftp.fao.org>. Recuperado el 20 de 1 de 2017, de ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706s/x6706s07.htm
- ✓ Jaramillo, D. F, (2002). <http://www.bdigital.unal.edu.co/>. Recuperado el 30 de 11 de 2016, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- ✓ Tamayo, I. M, (2010). <http://www.ugr.es>. Recuperado el 15 de 7 de 2017, de http://www.ugr.es/~imartin/TEMA5_ANOVA.pdf
- ✓ Cloter, H., Cram, S., Martínez Trinidad, S., & Bunge. V, (2015). http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2454/S0188461116300024/1-s2.0-S0188461116300024-main.pdf?_tid=a0ffc6d2-8ffc-11e7-bcdf-00000aab0f27&acdnat=1504370265_3c028093cc9ecfca1ca4c91ab31e49d0. (U. I. geográficas, Ed.) Obtenido de http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2454/S0188461116300024/1-s2.0-S0188461116300024-main.pdf?_tid=a0ffc6d2-8ffc-11e7-bcdf-00000aab0f27&acdnat=1504370265_3c028093cc9ecfca1ca4c91ab31e49d0

- ✓ Jaramillo, D. F, (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- ✓ FAO, (2017). http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sc/soil_compaction.pdf. Recuperado el 2 de 9 de 2017, de [http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27spanish/sc/soil_compaction .pdf](http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27spanish/sc/soil_compaction.pdf)
- ✓ Salamanca, A. & Sadeghian, S, (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana. Cenicafé, 17.
- ✓ Hossne, G. A., Méndez, J., Trujillo, M., & Parra, F.. (2015). Soil irrigation frequencies, compaction, air porosity and shear stress effects on soybean root development. Acta universitaria, 25(1), 22-30. <https://dx.doi.org/10.15174/au.2014.676>
- ✓ Ríos, R., Parra, N.F. (2012). Actividad de hoyado en preparación de terreno para siembra. Estudio realizado en Santa Rosa de Cabal en predios de SKC
- ✓ Bedoya, M. A, (2014). Estimación de rendimientos temporales en actividades de establecimiento en plantaciones de Eucalyptus grandis en el municipio de Yolombó, propiedad de la Empresa Tablemac S.A.
- ✓ Rojas, J. M, (2012). Densidad Aparente, Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. Estación experimental Saenz Peña. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf
- ✓ Stihl Colombia, (2017). Catálogo de productos. Recuperado de <http://www.stihl.com.co/productos.aspx>
- ✓ SKC, (2017) Procedimientos Capítulo 06 de Silvicultura, sección preparación del suelo, título hoyado mecanizado. Pág. 4

- ✓ SKC, (2017) Procedimientos Capítulo 05 de Silvicultura, sección preparación del suelo, título hoyado manual. Pág. 4