

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE LABRANZA REDUCIDA (LR) EN
LAS HACIENDAS AVELINA Y BUCHITOLO DEL VALLE DEL
CAUCA, COLOMBIA.



EDGAR GÓMEZ TORRES

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE (ECAPMA)
PALMIRA, COLOMBIA

2019

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE LABRANZA REDUCIDA (LR) EN
LAS HACIENDAS AVELINA Y BUCHITOLO DEL VALLE DEL
CAUCA, COLOMBIA.



EDGAR GÓMEZ TORRES

Trabajo aplicado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Agrónomo

Directora:

ING. MARÍA DEL CARMEN GARCÉS

Msc. Ciencias Agrarias (C)

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE (ECAPMA)
PALMIRA, COLOMBIA

2019

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

A Dios, el supremo investigador, porque sin Él nada podemos hacer y nada
podemos alcanzar.

A los Docentes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, especialmente a las profesoras, María del Pilar Romero, Shirley Andrea Rodríguez, al profesor Álvaro Quinceno y Milton Ararat por sus explicaciones, consejos, su dedicación y su amistad.

A mi Asesora de trabajo de grado, Ingeniera María del Carmen Garcés por brindarme su apoyo y consejos durante este proceso.

Al jurado de este trabajo de grado.

A mi esposa e hijos, por su acompañamiento, apoyo y paciencia.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Palmira, Colombia - septiembre de 2019

RESUMEN

El cultivo de la caña de azúcar *Saccharum Offininarum* es a menudo descrito como el motor de la economía en el Valle del Cauca, mueve cerca del 0,7% del PIB nacional y cerca de 180.000 empleos (Colprensa, 2017). Existen 13 Ingenios Azucareros en la región de los cuales 6 tienen plantas de bio-etanol. Además de los empleos directos, la cadena de producción de la caña de azúcar genera incontados empleos en procesos transversales como la producción de bebidas y alimentos. Son reconocidas a nivel mundial las bondades de este cultivo a nivel industrial. Sin embargo, son reales las consecuencias del monocultivo en términos de afectación de los recursos naturales, el uso de maquinaria pesada y la compactación del suelo. El presente proyecto aplicado propone un sistema de labranza reducida (**LR**) el cual impacta positivamente en las consecuencias del monocultivo, disminuyendo el uso de maquinaria pesada, así como la roturación profunda del subsuelo en el cultivo. Para desarrollar tal propuesta, este proyecto, a través de la evidencia empírica recolectada en la ejecución de los procesos de **LC** y **LR** en dos haciendas del Valle del Cauca, compara los procesos, tiempos y producción del cultivo de caña en sendos procesos, en aras de argumentar los beneficios del sistema de labranza reducida en términos de gastos y alteración del medio ambiente.

Palabras Clave: caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), labranza, compactación, costos.

ABSTRACT

The cultivation of sugarcane *Saccharum Offininarum* is often described as the engine of the economy in Valle del Cauca, moves about 0.7% of the national GDP and about 180,000 jobs (Colprensa, 2017). There are 13 sugar mills in the region, of which 6 have bio-ethanol plants. In addition to direct jobs, the sugarcane production chain generates countless jobs in cross-cutting processes such as the production of beverages and food. The benefits of this crop at an industrial level are recognized worldwide. However, the consequences of monoculture in terms of affecting natural resources, the use of heavy machinery and soil compaction are real. The present applied project proposes a system of reduced tillage (LR) which positively impacts the consequences of monoculture, reducing the use of heavy machinery as well as the deep plowing of the subsoil in the crop. To develop such a proposal, this project, through the empirical evidence collected in the execution of LC and LR processes in two haciendas in Valle del Cauca, compares the processes, times and production of sugarcane in two processes, in to argue the benefits of the reduced tillage system in terms of expenses and environmental alteration.

Keywords: sugarcane (*Saccharum officinarum*), tillage, compaction, costs.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	12
2.	OBJETIVOS	15
2.1.	OBJETIVO GENERAL	15
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3.	MARCO TEÓRICO	16
3.1.	LA CAÑA DE AZÚCAR (<i>SACCHARUM OFFICINARUM</i>) COMO CULTIVO	16
3.2.	ESTRUCTURA EXTERNA DE LA PLANTA	17
3.3.	FENOLOGÍA DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	20
3.4.	PREPARACIÓN DE SUELOS PARA LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR.....	21
3.5.	LABRANZA CONVENCIONAL (LC)	23
3.6.	LABRANZA REDUCIDA (LR)	24
3.6.1.	<i>Historia de la labranza reducida.....</i>	<i>25</i>
4.	ASPECTOS METODOLÓGICOS	27
4.1.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	27
4.2.	ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	31
5.	RESULTADOS	33
5.1.	LABRANZA CONVENCIONAL	33
5.2.	ESTABLECIMIENTO DE LABRANZA REDUCIDA	40
5.3.	ANÁLISIS COMPARATIVO	41
5.3.1.	<i>Labranza convencional (LC).....</i>	<i>41</i>
5.3.2.	<i>Labranza Reducida (LR).....</i>	<i>42</i>
5.4.	ANÁLISIS DE COSTOS ECONÓMICOS.....	46
6.	CONCLUSIONES	49
7.	BIBLIOGRAFÍA	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Propuesta de tabla comparativa entre Labranzas</i>	30
Tabla 2. <i>Propuesta de tabla comparativa de costos</i>	31
Tabla 3. <i>Labores de preparación</i>	33
Tabla 4. <i>Equipo para decepada</i>	35
Tabla 5. <i>Equipo para Subsuelo</i>	36
Tabla 6. <i>Equipo para rastrillo</i>	38
Tabla 7. <i>Equipo para pulida</i>	39
Tabla 8. <i>Aplicación de herbicidas en el cultivo</i>	41
Tabla 9. <i>Comparativo entre Labranza Convencional y Labranza Reducida</i>	45
Tabla 10. <i>Análisis de costos para labranza convencional y reducida</i>	48

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Sistema radicular de la caña de azúcar</i>	17
<i>Figura 2. Diferenciación de los tallos de la caña de azúcar Fuente: (Humbert, 1974)</i>	18
<i>Figura 3. Partes principales del tallo de la caña de azúcar Fuente: (Artschwager & Brandes, 1958)</i>	18
<i>Figura 4. Partes estructurales de la hoja de la caña de azúcar Fuente: (Humbert, 1974)</i>	19
<i>Figura 5. Flor de la caña de azúcar Fuente: (Moore, 1971)</i>	20
<i>Figura 6. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar Fuente: (Aguilar Rivera, 2011, pág. 154)</i>	20
<i>Figura 7. Coordenadas Hacienda Avelina Fuente: Elaboración propia</i>	27
<i>Figura 8. Coordenadas Hacienda Buchitolo Fuente: Elaboración propia</i>	28

<i>Figura 9.</i> Descepada de área evaluada. La imagen de la izquierda corresponde a la Hacienda Avelina y la de la derecha a la Hacienda Buchitolo.	34
<i>Figura 10.</i> Primer Pase. Sesgado 15°	34
<i>Figura 11.</i> Segundo pase	35
<i>Figura 12.</i> Subsuelo	35
<i>Figura 13.</i> Primer Pase.....	36
<i>Figura 14.</i> Segundo Pase Fuente: El autor	36
<i>Figura 15.</i> Rastrillo La imagen de la izquierda corresponde a la Hacienda Avelina y la de la derecha a la Hacienda Buchitolo.	37
<i>Figura 16.</i> Dirección de siembra.....	37
<i>Figura 17.</i> Rastrillo	38
<i>Figura 18.</i> Primer pase	39
<i>Figura 19.</i> Surcada	39
<i>Figura 20.</i> Labores culturales labranza reducida Fuente: El autor.....	43
<i>Figura 21.</i> Labores culturales labranza reducida II Fuente: El autor	43
<i>Figura 22.</i> Erradicación mecánica de los residuos de cepa del cultivo anterior (Hacienda Avelina a la derecha, Hacienda Buchitolo a la izquierda).....	44
<i>Figura 23.</i> Desarrollo del Cultivo a los 9 meses de la Hacienda Avelina Fuente: El autor.	44
<i>Figura 24.</i> Cosecha a los 13 meses de la Hacienda Avelina Fuente: El autor	44
<i>Figura 25.</i> Desarrollo del Cultivo a los 9 meses de la Hacienda Buchitolo. Labranza Reducida Fuente: El autor	45
<i>Figura 26.</i> Cosecha a los 13 meses de la Hacienda Buchitolo Fuente: El autor	45

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Abreviatura	Término
ASOCAÑA	Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia
A.C	Antes de cristo
ACPM	Aceite Combustible Para Motores
CENICAÑA	Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia
cm	Centímetro
D.C	Después de cristo
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Ha	Hectárea
Hr	Horas
kPa	Kilopascales
LC	Labranza Convencional
LR	Labranza Reducida
mm	Milímetros
UE	Unión Europea
TCH	Toneladas de caña por hectárea

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es considerada de gran importancia a nivel mundial por su gran potencial agroindustrial. Según datos oficiales de la FAO (2012) es cultivada por 103 países siendo Latinoamérica el área donde mayor cantidad de cultivos se encuentran.

En la actualidad, la industria sigue su marcha imparable. Cada año se producen aproximadamente 160 millones de toneladas de azúcar que mueven unos 70.000 millones de dólares en todo el mundo, según FAO. Cada persona consume una media de 24 kilos anuales y la FAO calcula que en la campaña 2021-2022 la producción será de 207 millones de toneladas, un 26 por ciento más que diez años antes (Villadiego *et al*, 2013).

La producción mundial de azúcar para el año 2016 fue de 172,8 millones de toneladas. Los principales países productores de azúcar son Brasil, con un volumen estimado de 35 millones de toneladas; India con una producción cercana a los 26 millones de toneladas y la UE-28 en torno a los 14,8 millones de toneladas (MERCASA, 2017). En Colombia, de acuerdo con el informe anual de ASOCAÑA (2018), el total del área sembrada de caña de azúcar en Colombia para el año 2016 fue de 238.204 *Ha*, el área cosechada fue de 191.292 *Ha*, para una producción de 117,5 toneladas de caña por *Ha* y 12,7 toneladas de azúcar por *Ha*, logrando una producción total de 2.091.218 toneladas de azúcar.

El sector azucarero colombiano se encuentra ubicado desde el norte del departamento del Cauca pasando la franja central del Valle del Cauca, hasta el sur del departamento de Risaralda. En esta región hay 225.560 hectáreas sembradas en caña para azúcar “el consumo nacional de azúcar en Colombia fue de 1,69 millones de toneladas, destinado en un 52% al consumo directo en los hogares y un 48% a la fabricación de productos alimenticios, bebidas para consumo humano y otros productos industriales” (Henao Puerta & Bolaños Betancourt, 2016), por otra parte la utilización efectiva de la maquinaria para la producción de estos cultivos es una preocupación mundial debido a su alto costo y a la aplicación indebida de las prácticas de cultivo que incrementan ostensiblemente los costos de producción además este

uso indiscriminado de maquinaria afecta la estructura del suelo y la contaminación del medio ambiente por la emanación del dióxido de carbono CO₂ a la atmosfera por el consumo del combustible *ACPM*.

El cultivo de la caña de azúcar en el Valle del Cauca es, en su mayoría, mecanizado en todas las labores culturales. Generalmente, cuando en un cultivo se realizan más de cinco (5) cortes, sus producciones empiezan a decaer por efecto de la compactación del suelo, por el uso de la maquinaria agrícola pesada, envejecimiento del cultivo y la superpoblación de tallos por metro lineal, estos factores hacen disminuir su producción.

La preparación del suelo es una de las labores más importantes para el establecimiento de cultivos de caña de azúcar. Esta labor proporciona un ambiente apropiado para la germinación de la semilla y buen desarrollo del cultivo donde exista una buena relación suelo-aire-agua y condiciones para la adecuada disposición y asimilación de los diferentes nutrientes. Las labores de preparación se realizan de acuerdo a las texturas del suelo, contenido de humedad y la maquinaria e implementos a utilizar. Cuando se realiza una preparación excesiva del suelo se daña su estructura, por lo tanto, son importantes las prácticas de conservación que incidan directamente en los costos de producción.

La empresa Castilla Agrícola S.A., como cultivador de caña de azúcar, es pionera en la tendencia de la aplicación de técnicas agrícolas de primera tecnología. Sin embargo, para minimizar impactos energéticos y reducir los realizados a los recursos naturales, sin sacrificar ganancia se propone estimar las bondades de los tradicionales métodos de labranza. La conservación del recurso natural suelo en los procesos productivos extractivos es de vital importancia para la actual y futuras generaciones. En los últimos años ha crecido rápidamente la potencia de los tractores y la cantidad de energía que se invierte en los cultivos por el uso de fertilizantes, combustible y maquinaria. Sin embargo, las tecnologías de labranza impactan ecológicamente los recursos agua y suelo (FAO, 2014).

En diferentes sistemas de manejo, se destacan diferencias notables entre labranza conservacionistas (ejemplo labranza reducida), y labranza convencional en la cantidad y distribución de formas orgánicas (ejemplo biomasa microbiana), transformaciones del

Nitrógeno en el suelo, y en el destino del N aplicado como fertilizante, además de diferencias en otros parámetros del suelo (ejemplo densidad aparente), que afectan la disponibilidad del elemento en el suelo (Delgado & Salas, 2006)

Otro aspecto muy importante es la conservación del medio ambiente y el uso de la labranza reducida en los cultivos requiere de maquinaria de menor potencia, por lo tanto, hay un menor impacto ambiental negativo en el suelo y también se reduce la emisión de CO₂ generada por la combustión de la maquinaria utilizada en el suelo. Por tanto, la labranza reducida tiene como finalidad realizar el menor número de operaciones con maquinaria agrícola, lo cual contribuye a la conservación del suelo y su estructura, evitando al máximo su compactación. Adicionalmente reduce los costos en la labor de preparación de suelos.

Este proyecto pretende establecer un sistema de labranza reducida como una alternativa sustentable y sostenible económicamente en el cultivo de la caña de azúcar en el Valle del Cauca. La propuesta encierra un diseño metodológico que permite la comparación directa de la labranza convencional y la labranza reducida y los costos que puedan afectar el proceso de preparación del suelo y los rendimientos en la producción.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Proponer un sistema de Labranza Reducida (LR) para el cultivo de caña de azúcar en las haciendas Avelina y Buchitolo del Valle del Cauca.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el modelo de Labranza Convencional (LC) a partir de su ejecución en las haciendas Avelina y Buchitolo ubicadas en terreno plano del Valle del Cauca.
- Caracterizar el modelo de Labranza Reducida (LR) a partir de su ejecución en las haciendas Avelina y Buchitolo del Valle del Cauca.
- Identificar las ventajas económicas y ecológicas del proceso de Labranza Reducida a partir de un análisis comparativo entre sendos procesos (LC y LR).

3. MARCO TEÓRICO

A continuación, se exponen los componentes teóricos acuñados por estudios científicos alrededor de la caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*). En un primer lugar se establecen las generalidades del cultivo de caña de azúcar, se hace una breve narración histórica sobre el cultivo y se exponen cifras relacionadas con la cadena de producción a niveles nacional, local e internacional. En segundo lugar, se exponen los aspectos relacionados con la estructura externa de la planta y todo lo relacionado con la fenología del cultivo de caña de azúcar. En tercer lugar, se exponen los argumentos teóricos acerca de la preparación de los suelos para la producción de la *Saccharum Officinarum*. En cuarto lugar, se hace una descripción teórica del proceso productivo conocido como Labranza Convencional (**LC**) y finalmente se hace una breve narración de los aspectos históricos del proceso de Labranza Reducida (**LR**).

3.1. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como cultivo

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) pertenece a la familia de las poáceas, del género *Saccharum*. El origen la caña de azúcar es de Nueva Guinea; se cultivó por primera vez el Sureste Asiático y la India occidental. Alrededor de 327 A.C. era un cultivo importante en el subcontinente indio. Fue introducido en Egipto alrededor del 647 D.C. y alrededor de un siglo más tarde, a España (755 D.C.) (SAGARPA, 2015).

De acuerdo con el informe anual de ASOCAÑA el total del área sembrada de caña de azúcar en Colombia para el año 2016 fue de 238.204 **Ha**, de las cuales el 75% es producida por 2.750 proveedores de caña y el 25% es producida por 14 ingenios azucareros del país, el área cosechada fue de 191.292 **Ha** para una producción de 117.5 toneladas de caña por **Ha** y 12.7 toneladas de azúcar por **Ha**, logrando una producción total de 2.091.218 toneladas de azúcar. Los ingenios producen al año más de 5 millones de toneladas de bagazo, el cual es utilizado para la producción de papel y energía limpia. Según LMC international (Leading, Marketing-economic Consulting), Colombia es el país con mayor productividad en el mundo, con un promedio entre 2013 y 2017 de 15.8 toneladas de azúcar por **Ha**, además el bioetanol

de caña producido fue de 434.431 miles de litros, el cual reduce en un 74% las emisiones de gases efecto invernadero comparado con el combustible fósil; en el año 2016, el país generó 1.417 GWh con 12 plantas cogeneradoras de energía, suficiente para atender las necesidades de un poco más de 1.000.000 de habitantes (ASOCAÑA, 2018).

3.2. Estructura externa de la planta

El sistema radical: Constituye el anclaje de la planta y el medio de la absorción de nutrimentos y de agua del suelo. Está formado por dos tipos de raíces (Amaya *et al*, 1995)

Raíces de la estaca original o primordiales: Se originan a partir de la banda de los primordios radical, localizada en el anillo de crecimiento del trozo original (estaca) que se planta o se siembra (Amaya *et al*, 1995).

Raíces permanentes: De acuerdo con Amaya *et al* (1995), estas brotan de los anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes. Son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta.

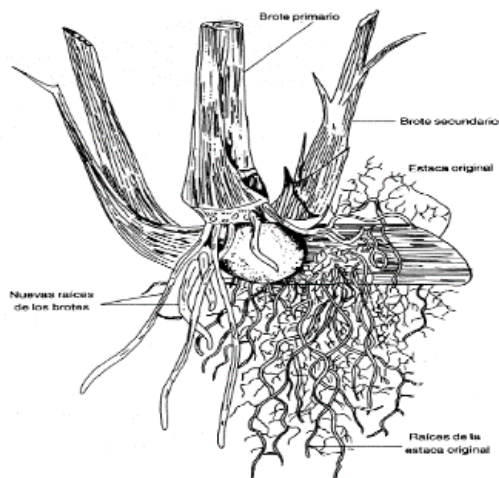


Figura 1. Sistema radicular de la caña de azúcar
Fuente: (Humbert, 1974)

El tallo: Considerado el principal órgano de la planta por ser la unidad de almacenamiento del azúcar. La caña de azúcar forma cepas compuestas por un conjunto de tallos, originados de las yemas del material vegetativo de siembra y de las yemas de los nuevos brotes subterráneos, de acuerdo a esta formación se clasifican en tallo primario, secundario y terciario

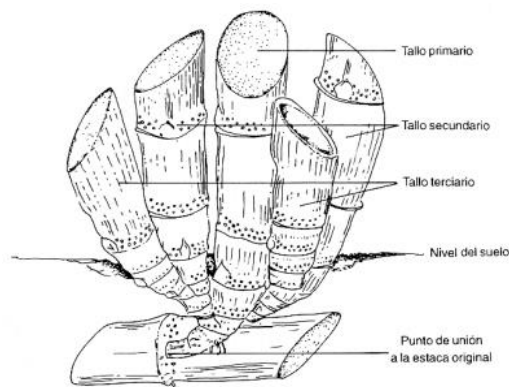


Figura 2. Diferenciación de los tallos de la caña de azúcar
Fuente: (Humbert, 1974)

Nudo: El nudo separa dos entrenudos vecinos, a partir de él se origina los entrenudos. Está formado por el anillo de crecimiento, la banda de raíces, la cicatriz foliar, la yema y el anillo ceroso (Amaya *et al*, 1995).

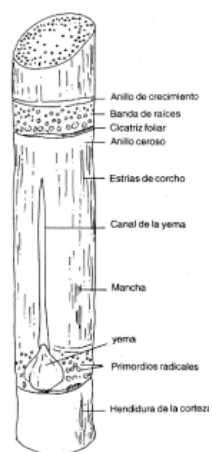


Figura 3. Partes principales del tallo de la caña de azúcar
Fuente: (Artschwager & Brandes, 1958)

Entrenudo: Esta localizado entre dos nudos, tiene forma cilíndrica, abarrilado, en forma de huso; en la parte apical del tallo el entrenudo determina la elongación del tallo y su longitud final

Hojas: Se originan en los nudos, son alternas a lo largo del tallo. Las partes de la hoja son la lámina foliar la cual es de gran importancia para la fotosíntesis y la vaina que tiene forma tubular; la unión de estas dos partes se llama lígula y está en sus extremos tiene una aurícula con pubescencia variable (Amaya *et al.*, 1995).

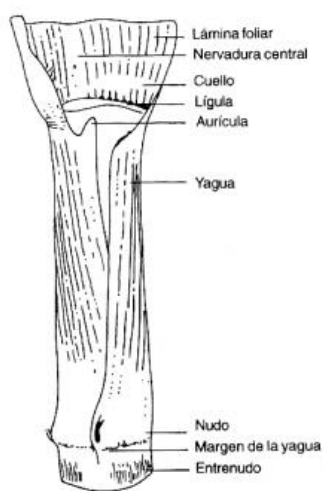


Figura 4. Partes estructurales de la hoja de la caña de azúcar
Fuente: (Humbert, 1974)

La Flor: Es una panícula sedosa en forma de espiga. La conforma un eje principal con articulaciones en las cuales se insertan las espiguillas, estas contienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas (Amaya, *et al.* 1995).

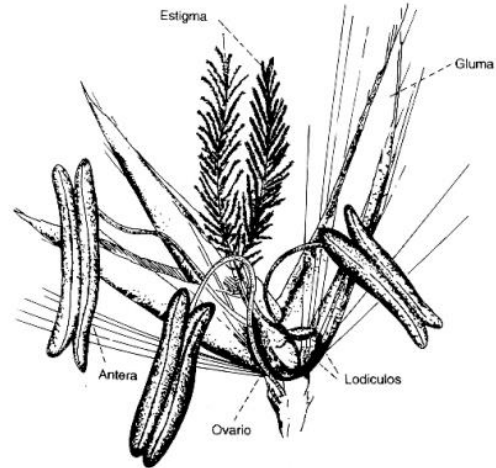


Figura 5. Flor de la caña de azúcar
Fuente: (Moore, 1971)

3.3. Fenología del cultivo de caña de azúcar

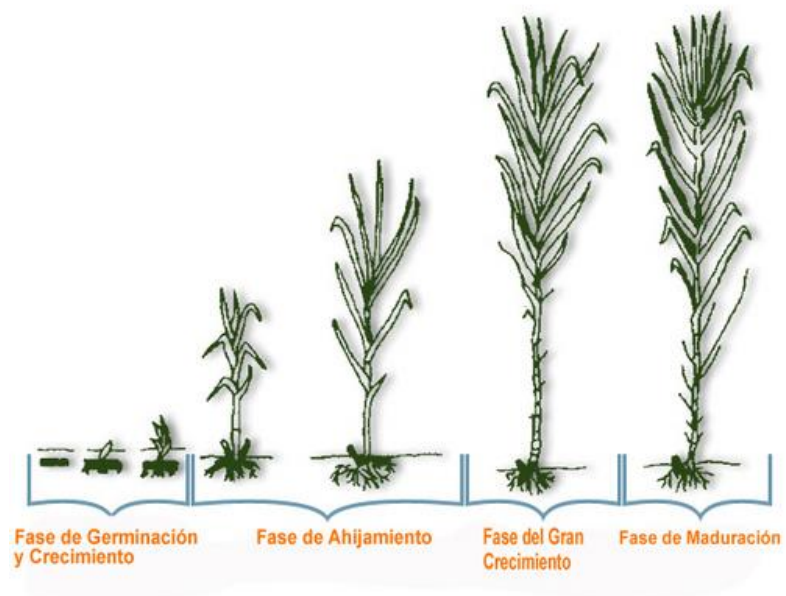


Figura 6. Etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar
Fuente: (Aguilar Rivera, 2011, pág. 154)

El cultivo de caña de azúcar comprende cuatro fases de desarrollo vegetativo, inicia en la fase de germinación desde el trasplante hasta el brote de las yemas, la cual puede darse entre los 7-10 días después de la siembra, siempre y cuando se encuentre en condiciones óptimas para su desarrollo, es decir, la sanidad de la yema, la humedad del esqueje y su estado nutricional, o factores externos como una temperatura adecuada 28-30°C, un suelo cálido, húmedo, bien estructurado y poroso (SAGARPA, 2015).

Continúa la fase de ahijamiento o fase formativa, comienza a los 40 días después de la plantación, donde se produce la ramificación subterránea múltiple, que se origina a partir de las articulaciones nodales compactas del tallo primario, factores externos y la variedad a producir son determinantes en el ahijamiento, ya que temperaturas menores a 20°C tardan el proceso, por lo tanto no se obtiene un buen rendimiento; a los 90-120 días después de la plantación se alcanza la población máxima de retoños, después de los 150-180 días el 50% de los tallos mueren y se establece los tallos a desarrollarse (Aguilar Rivera, 2011).

La siguiente fase es denominada fase de crecimiento, comienza después de los 120 días después de la plantación hasta los 270 días, es considerada de gran importancia porque es la etapa de elongación del tallo, también se forma rápidamente el área foliar, alcanzando un índice de (IAF) de 6-7; bajo condiciones de temperaturas sobre 30°C, con humedad cercana al 80%, los tallos crecen rápidamente, formando de 4-5 nudos por mes. Finalmente se da la fase de maduración, comienza de los 270 a 360 días, donde el crecimiento disminuye para dar paso a la síntesis de azúcar, se requiere de abundante luminosidad ya que la maduración de la caña ocurre desde la base hacia el ápice concentrándose el contenido de azúcares en la parte basal de la planta (Larrahondo & Villegas, 1995).

3.4. Preparación de suelos para la producción de caña de azúcar

De acuerdo con Garcia, Villatoro, Díaz y Sandoval (2014); esta actividad se realiza con el fin de proporcionar un ambiente adecuado para la óptima germinación de la semilla de la caña de azúcar y un buen desarrollo de este cultivo, se deben ejecutar una serie de

labores en campo que permitan la promoción de prácticas de conservación del suelo que afectan directamente los costos de producción.

La preparación del suelo radica en la destrucción de malezas y residuos de cultivos anteriores, aumentando la capacidad del suelo para la infiltración y retención del agua, una mejor aireación, la penetración de raíces, aumento de la actividad microbiana del suelo y destrucción de la compactación del mismo, como también facilitar una adecuada actividad química y biológica del suelo.

Por lo anterior se hace indispensable realizar una correcta preparación del terreno antes de comenzar un nuevo cultivo y más en el cultivo de caña de azúcar, el cual se mantendrá en el campo durante 5 a 6 años, debido a la práctica de producir varios cultivos de caña soca. Por lo que requiere de un suelo bien labrado que permita una germinación adecuada de los esquejes para el levantamiento del cultivo y para un buen crecimiento radicular (SAGARPA, 2015). Así que la labranza es la manipulación física del suelo con implementos apropiados para ablandar la camada superficial del suelo. Por lo tanto, es indicado conocer las características de la labranza convencional y la labranza reducida (Shaxson & Barber, 2005).

Es necesario evitar el exceso de mecanización en campo, involucrando tránsito de materia pesada desde el momento de establecer el cultivo hasta su cosecha, ya que esto trae como consecuencia el deterioro de las condiciones físicas del suelo, ocasionando la compactación del suelo, reduciendo el movimiento del aire y agua en el suelo, mayor resistencia mecánica para el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes requeridos para la planta (Sánchez Ortiz *et al*, 2010). De acuerdo con lo indicado por Rodríguez y Daza (1995) las labores de preparación antes de la siembra de la caña son: decepada, subsolado, arado, rastrillada y surcada. Estas labores están sujetas a las recomendaciones del agricultor o del tipo suelo donde se va a establecer el sistema productivo.

3.5. Labranza convencional (LC)

Consiste en ejecutar las operaciones de campo necesarias para proporcionar un ambiente apropiado para la óptima germinación de la semilla y el buen desarrollo del cultivo. La preparación del suelo debe orientarse hacia aquellas labores indispensables, teniendo como parámetros la calidad y eficiencia.

La secuencia de labores a realizar con LC propuesta por Rodríguez y Daza (1995) son:

- Descepada: Consiste en la destrucción e incorporación al suelo de los residuos de cultivos anteriores, la profundidad de la labor debe ser de 20 a 25 cm, y eficiencia de 2,3 **hr/Ha**.
- Según las características del terreno, residuos de cosecha, podemos estimar la cantidad de pases a trabajar.
- Subsuelo: Esta labor se ejecuta después de la nivelación o descepada y consiste en roturar y fragmentar el suelo hasta una profundidad de 60 cm. Con esta labor se mejora el drenaje interno, la infiltración del agua y la aireación del suelo.
- Arado de Cincel: Esta labor se realiza con máquinas de 230-280 **HP** y maneja una eficiencia de 0,9 **hr/Ha**. Generalmente se usa en suelos de textura liviana, como 1° o como 2° pase de roturación.
- Rastrillo: Esta labor tiene como objetivo fracturar y voltear el suelo a una profundidad entre 25 y 30 cm, con el fin de favorecer distribución de los agregados. Va en dirección perpendicular a la surcada, la calidad de la labor está asociada con el impacto de los discos que giran a altas velocidades. Generalmente se efectúa 1 pase, con máquinas entre 280-375 **HP**, eficiencia de 1,1 **hr/Ha**, con Rastra de 24 x 32" dentado.
- Pulida: Consiste en desterronar el suelo hasta pulirlo, garantizando de esta manera el buen contacto entre la semilla y el suelo, la profundidad de la labor debe ser de

15 a 20 cm. La labor se realiza con máquinas con potencia de 280-375 HP, rastra de 64 discos de 24" y una eficiencia de 0.6 horas por Ha.

- **Surcada:** Consiste en hacer surcos o camas donde se coloca la semilla para las nuevas plantaciones. La profundidad de la labor debe ser de 25 a 30 cm.

Por consiguiente, la labranza convencional implica la roturación de toda la superficie a sembrar y en consecuencia emplea un conjunto de implementos específicos que lo hace más costoso.

3.6. Labranza Reducida (LR)

Existe un sistema de labranza para la renovación rápida de las plantaciones llamada "labranza reducida" para los cultivos que no requieren nivelación, reduciendo el número de labores, reduciendo y realizando solo las siguientes: destrucción de cepas, destrucción de terrones grandes y el surcado. El fundamento de esta labranza es reducir en lo posible el número de pases de maquinarias sobre el terreno con el objetivo de disminuir el grado de compactación, utilizando elementos agrícolas tradicionales (Zerega Mendez, 2017).

Este tipo de labranza es considerada de conservación ya que se la siembra se realiza sobre una superficie del suelo cubierta con residuos del cultivo anterior, conservando la humedad, aumenta la estabilidad del suelo protegiendo su estructura, evitando la erosión, aumenta la capacidad productiva del suelo, se reducen los costos de producción y una menor alteración del suelo.

La secuencia de labores a realizar con LR es la siguiente:

1. **Despaje:** Posterior a la cosecha, los primeros días se retiran los residuos del lote y se llevan a los callejones utilizando un rastrillo apilador tipo australiano
2. **Subsolado:** Entre los días 10 y 15 después de la cosecha, se procede a roturar el entresurco del nuevo cultivo con un pase del subsolador curvo y un pase de arado de cincel.

3. Cultivo-Aporque: Entre los 15 y 20 días después de la cosecha se pasa el cultivador de discos para roturar los terrenos generados por el paso del subsolador, en suelos de textura franca y arenosa, el cultivador de discos se puede reemplazar por un cultivador de chuzos provisto de aleta aporcadora.
4. Siembra: Se realiza una semana antes de aplicar el herbicida
5. Aplicación del Herbicida: Se aplican entre 4 y 6 **litros/ha** de Roundup entre los 30 y 35 días después de la cosecha.
6. Incorporación de Cepas: Cuando el cultivo tiene entre 45 y 60 días de desarrollo, se incorporan al suelo las cepas del cultivo anterior utilizando el subsolador
7. Levantamiento del nuevo cultivo: Posterior a la incorporación de las cepas viejas se efectúan las mismas labores del sistema convencional (cultivo-abono-aporque-riegos y control de malezas).

3.6.1. Historia de la labranza reducida

Las primeras experiencias con labranza reducida (LBR) para la renovación de plantaciones de caña de azúcar fueron presentadas por CENICAÑA en un día de campo en la hacienda Río Frayle en 1992. En ese momento se tenía un campo comercial de CC 84-75 de tres meses de edad que había sido renovado rápidamente con pocos pases de maquinaria, lo cual era atractivo para reducir los costos de la renovación comercial que estaban cercanos a US\$ **800/Ha**.

Según Garcia, Villatoro, Díaz y Sandoval (2014); el estado de la tecnología para ese entonces era incipiente y parecía muy promisorio para reducir costos, hecho que motivó a varios cultivadores a ensayar la idea en sus tierras, con buenos y malos resultados. Casi siempre, los malos resultados son tomados como el criterio primario para juzgar el potencial de una tecnología nueva, de manera que hubo deserción y desconfianza en la **LR**. La experiencia en otros países, como Australia, indica que los cultivadores están muy comprometidos en hacer funcionar las nuevas tecnologías que han mostrado un potencial. Las prácticas de labranza realizadas durante el período de preparación del suelo están dirigidas hacia la conformación de un ambiente adecuado para la germinación de las yemas

y posterior establecimiento de un sistema radical vigoroso que permita un buen anclaje de la planta y, a su vez, a la obtención de suficientes nutrientes y agua para el desarrollo del nuevo cultivo.

Durante las últimas décadas se ha generado a nivel mundial un movimiento conservacionista de los suelos, existiendo la tendencia hacia el sistema de "cero labranzas" siembra directa, labranza conservacionista y labranza mínima. El sistema de labranza mínima en caña de azúcar involucra solamente la preparación del entresurco, dejando sobre la superficie del suelo todo o parte de los residuos del cultivo anterior, formando una capa protectora contra la erosión hídrica o eólica. Es por esto que la labranza mínima ha sido estudiada y adoptada principalmente en aquellos países en donde predominan los suelos con baja capacidad de retención de humedad como en África del Sur, Brasil y Australia (Amaya *et al*, 1995). Sin embargo, la necesidad de reducir los costos de producción ha motivado a muchos agricultores a la adopción de las prácticas de labranza mínima aún en suelos en donde no existen riesgos de erosión.

Según Fedesarrollo (2017) el Impacto socioeconómico del sector azucarero en su área de influencia y en la economía colombiana por cada empleo generado por los ingenios azucareros en sus plantas de producción, se generan 28,4 empleos adicionales en otros sectores de la economía; gracias a la actividad manufacturera de los ingenios, se generan 265 mil empleos a través de toda la cadena de valor.

En los municipios cañicultores, frente al resto de municipios en Colombia donde se desarrollan otras actividades agrícolas o agroindustriales, la calidad de vida es mejor y las necesidades básicas insatisfechas de la población son menores, pese a que la inversión pública es baja. Una mejor calidad de vida se ve reflejada en una mayor tasa de escolaridad, una mayor tasa de alfabetismo y una menor tasa de mortalidad (ASOCAÑA, 2013). Según el impacto positivo del sector en la economía de la región se acompaña de acciones en lo ambiental y social en concordancia de la visión de sostenibilidad y generación de bienestar. Tales acciones están dirigidas a fortalecer la gestión en el manejo del recurso hídrico, la calidad y pertinencia educativa y la convivencia armónica de la familia (ASOCAÑA, 2013)

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

4.1. Diseño de investigación

A continuación, se exponen las etapas, pasos y procedimientos de carácter metodológico que orientaron la presente propuesta aplicada de investigación. Es importante decir que esta metodología aplicada se estructura en 2 etapas con sus respectivos pasos y procedimientos, la primera etapa recibe el nombre de **Caracterización de los sistemas de LC y LR** y la segunda se denomina **Análisis comparativo**.

Para dar solución al primer objetivo específico de investigación: Caracterizar el modelo de Labranza Convencional (LC) a partir de su ejecución en las haciendas Avelina y Buchitolo ubicadas en terreno plano del Vale del Cauca. Se procedió a aplicar dicho proceso, primero en la hacienda Avelina (ver figura 7), la cual tiene una extensión de 348.95 hectáreas (área bruta) y un área neta 305.95 hectáreas, está localizada en el municipio de Florida a una altitud de 1.022 msnm y hace parte de las 15 haciendas que constituye la zona central de la Empresa Castilla Agrícola en el Valle del Cauca. Las coordenadas geográficas: Oeste = $76^{\circ}15'30.99''$ // Norte = $3^{\circ}21'15.70''$.

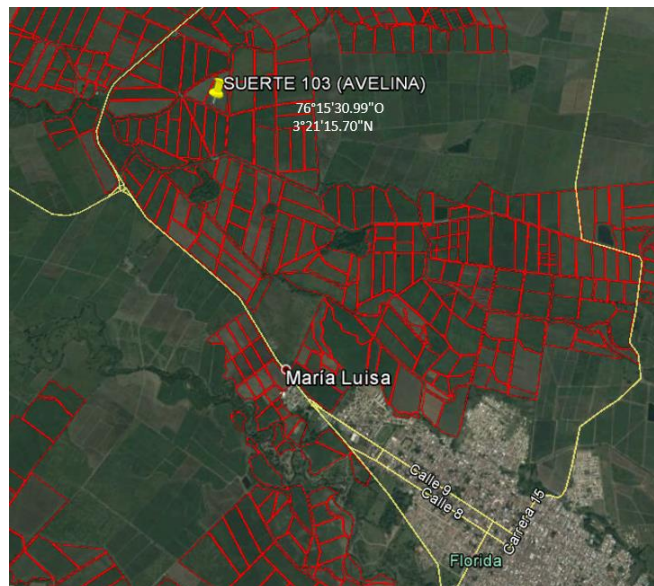


Figura 7. Coordenadas Hacienda Avelina
Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, la hacienda Buchitolo (ver figura 8) cuenta con una extensión de 309,43 hectáreas, a una altitud de 981 msnm, entre las coordenadas: Oeste = $76^{\circ}21'22.50''$ // Norte = $3^{\circ}22'34.22''$, en la llanura aluvial de los afluentes de la cuenca del río Frayle del municipio de Candelaria. En cada localidad se tomó un área correspondiente a una hectárea y se le realizó un sistema de labranza convencional comparada con una hectárea de labranza reducida **LR**, posteriormente se sembró una plantilla de la variedad CC 01-1940.

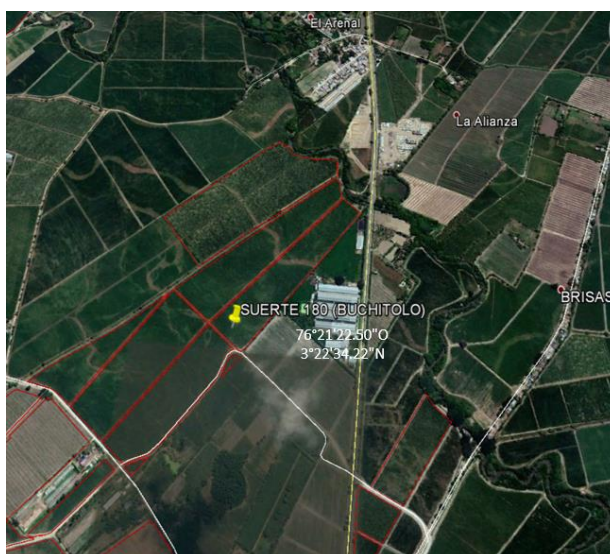


Figura 8. Coordenadas Hacienda Buchitolo
Fuente: Elaboración propia

Se procedió a aplicar el modelo convencional de labranza según la tradición agronómica de los cultivos de caña en el Valle del Cauca. Particularmente se acude a las directrices emprendidas por la Empresa Castilla Agrícola, las cuales establecen la siguiente estructura de labores en el proceso:

- Descepada: Labor que alude a la destrucción de cultivos anteriores a través de 2 pases (recorridos) del equipo conocido como Rastra de 20 discos X 36”.
- Subsuelo: Labor que alude a la fracturación del subsuelo a partir de dos (2) pases de tractor con cuatro (4) vástagos.
- Rastrillo: Labor que hace referencia al arado del suelo superficial a través de dos (2) pases con el equipo conocido como Rastra de 24 discos X 32” Dentado.

- Pulida: Labor que refiere al proceso de desterronar el suelo, se descomponen las partes más grandes (compactas) resultantes de los procesos de Subsuelo y Rastrillo a partir de un pase del equipo conocido como Rastra de 64 discos X 24”.

- Surcada: Labor que hace referencia a la construcción de los surcos o camas para la colocación de la semilla.

De esta manera se procedió a realizar las respectivas mediciones y descripciones que derivan en la caracterización del modelo de Labranza Convencional del cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum*. Los resultados pueden apreciarse en el apartado **5. RESULTADOS**, particularmente en el numeral **5.1. Labranza Convencional**.

Para dar solución al segundo objetivo específico de la presente propuesta aplicada de investigación: Caracterizar el modelo de Labranza Reducida (LR) a partir de su ejecución en las haciendas Avelina y Buchitolo del Valle del Cauca. Se procedió a ejecutar dicho proceso en los terrenos descritos anteriormente (Avelina y Buchitolo), en dicha ejecución se procedió a describir los procesos implicados en la ejecución del mismo. Los pasos utilizados en la **LR** están argumentados y desarrollados por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Valle del Cauca (CENICANÑA, 2015), el cual establece los siguientes pasos:

- Subsulado: Procedimiento de rotura del entresuelo del nuevo cultivo a través de un pase del equipo conocido como *Subsolador Cenitandent*.
- Cultivo de discos con vertedera: Proceso equivalente a la surcada de la **LC** y consiste la realización de un pase con un cultivo de discos con el equipo *Vertedera*, el cual muelle el suelo y deja listo el surcado para la ubicación de la semilla.
- Siembra: En esta labor se procede a efectuar la siembra del nuevo cultivo.
- Herbicida: En este proceso se aplican los productos herbicidas recomendados por Asocaña (2015).
- Incorporación de Cepas y Levantamiento de Cultivo: Se procede a incorporar las cepas del cultivo anterior y a ejecutar las labores normales de tratamiento del cultivo de acuerdo con el sistema de LC (Cultivo, abono, aporque etc.).

De esta manera se dio cumplimiento a la primera etapa de investigación **Caracterización de los sistemas de LC y LR.**

Para dar solución al tercer objetivo específico de la presente propuesta aplicada de investigación: Identificar las ventajas económicas y ecológicas del proceso de Labranza Reducida a partir de un análisis comparativo entre sendos procesos (LC y LR). Se desarrollaron los siguientes pasos:

Paso 1. Cuadro comparativo de hallazgos en los procesos LC y LR: En este paso se procede a realizar una tabla comparativa que coteje los hallazgos de cada proceso de labranza en términos del uso de recursos y afectación de tiempos y del suelo. En efecto, los resultados contribuyen al análisis de las ventajas y desventajas que se evidencian en cada sistema. El modelo de tabla que se propuso fue el siguiente, los resultados pueden apreciarse en el apartado **5.3. Análisis comparativo.**

Tabla 1.

Propuesta de tabla comparativa entre Labranzas

Labranza Convencional	Labranza Reducida
En esta columna se exponen los hallazgos encontrados en la aplicación del modelo de LC en las haciendas Avelina y Buchitolo respectivamente	En esta columna se exponen los hallazgos encontrados en la aplicación del modelo de LR en las haciendas Avelina y Buchitolo respectivamente
Se analizan de manera comparativa los dos procedimientos en aras de identificar beneficios, tanto operativos como ecológicos	

Fuente: El autor

Paso 2. Cuadro comparativo de costos: En este paso se procede a realizar la comparación de los costos implicados en el desarrollo de los procesos de cada sistema de labranza, de tal manera que se pueda analizar la opción más económica y sus bondades en el uso de recursos y tiempos de labor. se propuso la siguiente tabla comparativa para sistematizar los resultados de la medición, los resultados pueden apreciarse en el apartado **5.4. Análisis de costos.**

Tabla 2.*Propuesta de tabla comparativa de costos*

COSTO REAL LR HACIENDAS AVELINA Y BUCHITOLO				COSTO REAL LC HACIENDAS AVELINA Y BUCHITOLO			
LABOR	No. DE PASES	COSTO/HA	COSTO TOTAL	LABOR	No. DE PASES	COSTO/HA	COSTO TOTAL
Se procedió a describir el tipo de labor que se ejecutó, de acuerdo con el manual de CENICAÑA las labores son: Subsuelo Cenitandent (rotura del entresuelo del nuevo cultivo a través de un pase del equipo conocido como <i>Subsolador Cenitandent</i>) Subsuelo triple (rotura del suelo con equipo conocido como subsolador triple), Cultivo mecánico (labor de cultivo de manera manual) y Surcada (Elaboración de surcos o camas para plantación de semillas), Aplicación Química (Proceso de fertilización y/o fumigación del cultivo), Subsuelo triple	Se consigna información sobre la cantidad de pases utilizados	Se consigna información sobre costo económico por hectárea	Se consigna información sobre costo Total de la labor	Se procedió a describir el tipo de labor que se ejecutó, de acuerdo con el manual de CENICAÑA las labores son: Destrucción de cepas (Descepada), Subsuelo de preparación, Rastra (arada), Pulida, y Surcada	Se consigna información sobre la cantidad de pases utilizados	Se consigna información sobre costo económico por hectárea	Se consigna información sobre costo Total de la labor
Se procede a comparar los costos de operación y costos totales.							

Fuente: El autor

4.2. Enfoque y tipo de investigación

La presente propuesta aplicada adopta una metodología con enfoque mixto, el cual, en primer lugar, analiza de manera descriptiva dos sistemas de producción ejecutados en dos haciendas del Valle del Cauca y, en segundo lugar, analiza de manera comparativa datos relacionados con los costos de la producción en ambos procesos. En ese sentido; puede afirmarse que esta propuesta se estructura en dos (2) etapas que acuden a procesos de análisis cualitativo y cuantitativo respectivamente. Según el estudio clásico de Kathleen Eisenhardt

(1989), el uso simultáneo de datos cualitativos y cuantitativos genera un efecto sinérgico que alinea el rigor de los hallazgos cualitativos al nivel de detalle de los hallazgos cuantitativos.

El tipo de metodología que orienta la presente propuesta se basa en el método científico de estudios de caso, el cual es desarrollado por James Sterns y Christopher Peterson, dos grandes metodólogos en agronomía de negocios, con base en investigaciones aplicadas (Fong Reynoso, 2005). En una primera instancia, se estudian los procesos de la **LC** en dos casos del Valle del Cauca (Avelina y Buchitolo) y en una segunda instancia se estudian los procesos implicados en la **LR** aplicada a esos mismos casos, finalmente se realiza un análisis comparativo de costos en sendas operaciones.

Esta fase de la investigación tiene como propósito solucionar los dos (2) primeros objetivos específicos de investigación y caracterizar los procesos implicados en cada sistema de labranza ejecutados en las haciendas Avelina y Buchitolo del Valle del Cauca respectivamente.

5. RESULTADOS

A continuación, se exponen los resultados de la aplicación de los sistemas de labranza (LC y LR) a las respectivas haciendas Avelina y Buchitolo en el Valle del Cauca. El presente capítulo se estructura de la siguiente manera: En primer lugar, se caracteriza el sistema de LC a través de la exposición de los procesos utilizados en la aplicación del sistema de LC en cada una de las haciendas, se describen y se ilustran las labores utilizadas en cada paso, así como los equipos utilizados. En segundo lugar, se hace lo mismo con el sistema de LR, se caracteriza el sistema a través de la explicación de cada proceso y labor, también se ilustran los pasos y el uso de maquinaria. En tercer lugar, se hace el análisis comparativo entre sendos procesos intentando identificar las bondades y falencias de cada uno en términos de afectación del suelo. Finalmente se hace un análisis comparativo entre costos de cada sistema intentando identificar el procedimiento más ajustado a la mano de obra y costos de operación.

5.1. Labranza Convencional

Con la información que hemos generado en la Empresa Castilla Agrícola, se realizó en estas dos localidades un sistema de labranza convencional, para la preparación del suelo, con el objetivo de brindar las condiciones adecuadas para la óptima germinación de semillas y el desarrollo del cultivo. Dentro de estas labores tenemos:

Tabla 3.
Labores de preparación

LABOR	NUMERO PASES	EFICIENCIA
DESTRUCCION DE CEPAS	2	2,2
SUBSUELO	2	1,6
RASTROARADA	1	0,8
RASTRILLADA PULIDA	1	0,7
SURCADA	1	0,6
EFICIENCIA REAL		5.7

Fuente: El autor

- **Destrucción de cepas:** se realizó la destrucción e incorporación al suelo de los residuos de cultivos anteriores, a una profundidad de 25 a 30cm, y eficiencia de

1,1 hora/**Ha**. Teniendo en cuenta las características del terreno, residuos de cosecha, se determinaron la cantidad de pases a trabajar.



Figura 9. Descepada de área evaluada.

La imagen de la izquierda corresponde a la Hacienda Avelina y la de la derecha a la Hacienda Buchitolo.

Fuente: Autor

PRIMER PASE: Se inició sesgado 15° , con el objetivo de tener un óptimo ángulo de ataque de parte del equipo

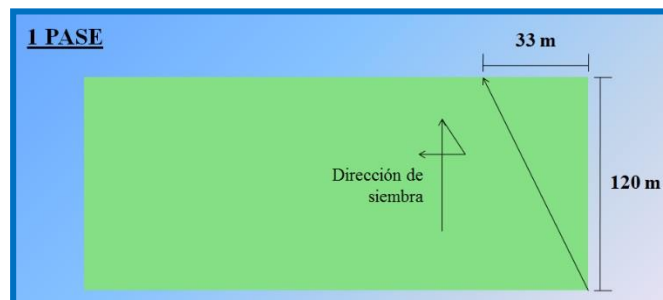


Figura 10. Primer Pase. Sesgado 15°

Fuente: El autor

SEGUNDO PASE: Esta en la misma dirección al surco, continuando con el corte de la cepa.

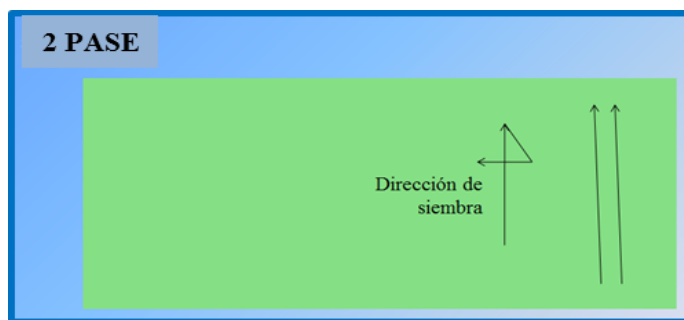


Figura 11. Segundo pase

Fuente: El autor

Tabla 4.

Equipo para decepada

EQUIPOS	POTENCIA	EFICIENCIA
	(HP)	(hr/Ha)
RASTRA 20 x36	310 a 375	1,1

Fuente: El autor

A mayor potencia mejor rendimiento, dada la velocidad y confiabilidad de la maquina.

- **Subsuelo:** Esta labor se ejecutó posterior a la nivelación o decepada y consistió en roturar y fragmentar el suelo hasta una profundidad de 60 cms. Con esta labor se mejoró el drenaje interno, la infiltración del agua y la aireación del suelo.



Figura 12. Subsuelo

Las imágenes muestran los implementos utilizados para el proceso de subsuelo en las Haciendas Avelina (izquierda) y Buchitolo (derecha).

Fuente: El autor

PRIMER PASE: Se inició sesgado 15° respecto del sentido de siembra hacia la salida del agua del tablón.

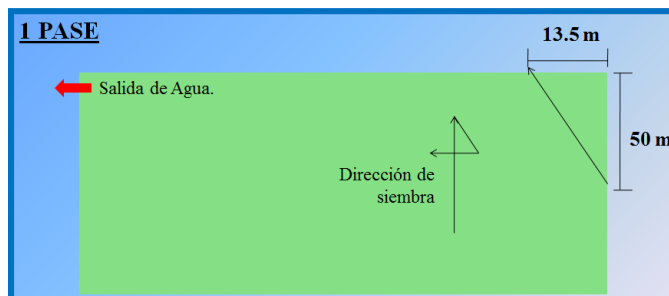


Figura 13. Primer Pase

Fuente: El autor

SEGUNDO PASE: Se realizó en el sentido de la siembra generando rombos¹.

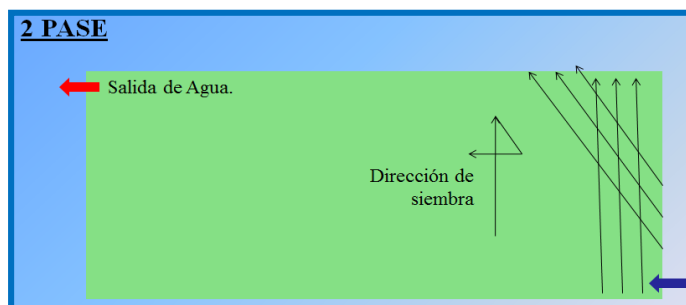


Figura 14. Segundo Pase

Fuente: El autor

Tabla 5.
Equipo para Subsuelo

EQUIPOS	POTENCIA	EFICIENCIA
	(HP)	(hr/Ha)
SUBSUELO (4 VASTAGOS)	310 a 375	0,8

Fuente: El autor

¹ El “rombo” se forma en el suelo al realizar los dos (2) pases cruzados, esto tiene como finalidad fraccionar el suelo en partículas más pequeñas, de tal manera que, cuando los demás implementos pasen por el suelo, éste esté más suelto y pueda proporcionar una buena cama para la semilla en la surcada.

La potencia es proporcional al rendimiento. En los suelos sueltos y bien drenados, no se realiza sino un solo pase en dirección al surco.

- **Rastrillo:** Para esta labor, se procedió a fracturar y voltear el suelo a una profundidad entre 25 y 30 cm, con el objetivo de favorecer la distribución de los agregados.



Figura 15. Rastrillo

La imagen de la izquierda corresponde a la Hacienda Avelina y la de la derecha a la Hacienda Buchitolo.

Fuente: El autor

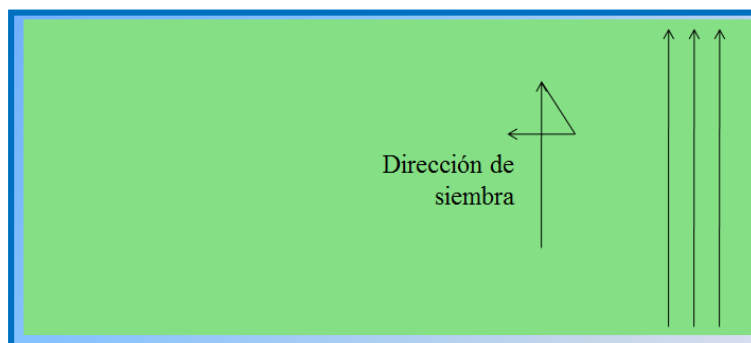


Figura 16. Dirección de siembra

Fuente: El autor

Esta se realizó en dirección perpendicular a la surcada, la calidad de la labor se asoció con el impacto de los discos que giran a altas velocidades. Se realizaron 2 pases, con maquinas entre 280-375 HP, eficiencia de 1,1 hr/Ha, con Rastra de 24 x 32” dentado.

Tabla 6.
Equipo para rastrillo

EQUIPOS	POTENCIA	EFICIENCIA
	(HP)	(hr/Ha)
RASTRA 24 x 32	270 a 310	0,8

Fuente: El autor

A mayor potencia mejor rendimiento, dada la velocidad y confiabilidad de la maquina.

- **Pulida:** Con esta labor se procedió a desterronar el suelo hasta pulirlo, garantizando de esta manera el buen contacto entre la semilla y el suelo, a una profundidad de 15 a 20 cms.



Figura 17. Rastrillo

En la imagen se muestran los implementos empleados en el proceso de rastrillo en las Haciendas Avelina (izquierda) y Buchitolo (derecha)

Fuente: El autor

1 PASE: Se hizo en dirección perpendicular al surco, dando continuidad a la arada, utilizando disco de 24”.

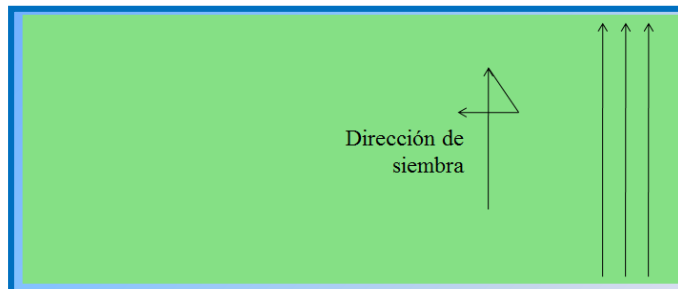


Figura 18. Primer pase
Fuente: El autor

Tabla 7.
Equipo para pulida

EQUIPOS	POTENCIA	EFICIENCIA
	(HP)	(hr/Ha)
RASTRA 64 x 24"	275 a 375	0,6

Fuente: El autor

A mayor cantidad de discos, mejor eficiencia de la labor, lo cual requiere mayor potencia de tiro, también se usan discos de 26”

- **Surcada:** Se procedió a realizar surcos o camas donde se colocó la semilla para las nuevas plantaciones. La profundidad de la labor fue de 25 a 30 cms.



Figura 19. Surcada

La imagen de la izquierda corresponde a la Hacienda Avelina y la de la derecha a la Hacienda Buchitolo

Fuente: El autor

5.2. Establecimiento de labranza reducida

Para el establecimiento del sistema de labranza reducida se adoptaron las recomendaciones dadas por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar -CENICAÑA, para la renovación rápida de cultivos que no requieren nivelación. El fundamento de esta labranza es reducir en lo posible el número de pases de maquinarias sobre el terreno con el objetivo de disminuir el grado de compactación, utilizando elementos agrícolas tradicionales:

La secuencia de labores que se realizaron con este tipo de labranza, siguiendo los lineamientos dados por CENICAÑA (2015), fueron:

1. **Subsolado:** Entre los días 10 y 15 después de la cosecha, se procedió a roturar el entresurco del nuevo cultivo con un pase del subsuelo Cenitandent y un pase de subsuelo triple.
2. **Cultivo de discos con vertedera:** Entre los 15 y 20 días después de la cosecha, se pasó el cultivador de discos para minimizar los agregados del terreno y con la vertedera que tenía el equipo quedó de una vez lista la cama para la semilla (surcado).
3. **Siembra:** Se realizó a la cuarta semana que es una semana antes de aplicar el herbicida, aprovechando que el cultivo a erradicar tenía suficiente follaje para que el herbicida tuviera su mejor efecto.
4. **Aplicación del herbicida:** Posterior a la siembra se realizó el control de la soca vieja y se aplicaron los siguientes productos:

Tabla 8.*Aplicación de herbicidas en el cultivo*

INSUMOS	DOSIS	OBSERVACIONES
AGUAPRO	0,3	LTROS /HA
SOLUAGUAS	0,2	LTROS /HA
GLYPOGAN	6	LTROS /HA
AMINA	1	LTROS /HA
MASTER	0,8	LTROS /HA
UREA	6	KILOS/HA
DOSIS	220	LTROS /HA
BOQUILLA	TK3	

Fuente: El autor

5. **Incorporación de Cepas:** Cuando el cultivo cumplió los 50 días de desarrollo, se incorporaron al suelo las cepas del cultivo anterior, utilizando un subsolador triple.
6. **Levantamiento del nuevo Cultivo:** Posterior a la incorporación de las cepas viejas, se efectuaron las mismas labores del sistema convencional (cultivo-abono-aporque-riegos y control de malezas).

5.3. Análisis comparativo

5.3.1. Labranza convencional (LC)

Se pudo observar que el cultivo de la caña de azúcar *Saccharum officinarum* establecido con la labranza convencional, permitió lograr un adecuado desarrollo de las plantas y óptimos rendimientos en la producción para las dos áreas evaluadas, con la labranza convencional la suerte cerró con un TCH de 149 toneladas por hectárea para la Hacienda Avelina y un TCH de 148 toneladas por hectárea para la Hacienda Buchitolo, pero generó roturación de toda la superficie a sembrar, ocasionando compactación, entre otras consecuencias que afectan los recursos naturales, en especial el suelo.

Adicionalmente con la LC para la renovación de plantaciones de caña de azúcar, fue necesario erradicar el cultivo anterior por medio de varios pases de rastras pesadas, los cuales se operaron a profundidades de 25 a 30cm, que resultaron ineficientes porque la cepa completa o parte de ella fue enterrada o trasplantada, e incrementó el número de pases y con ello aumentaron los costos de la preparación. Adicionalmente debido al incremento de los pases de rastras pesadas, la microfauna del suelo quedo expuesta a los rayos del sol afectando la actividad microbiana del suelo y la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

5.3.2. Labranza Reducida (LR)

El cultivo de la caña de azúcar *Saccharum officinarum* establecido con la labranza reducida (Figura 13), permitió lograr un adecuado desarrollo de las plantas y óptimos rendimientos en la producción, la suerte cerró con un TCH de 152,4 toneladas por hectárea para la Hacienda Avelina y un TCH de 150,0 toneladas por hectárea para la Hacienda Buchitolo.

Este tipo de labranza es considerada de conservación ya que se la siembra se realizó sobre una superficie del suelo cubierta con residuos del cultivo anterior, conservando la humedad, aumenta la estabilidad del suelo protegiendo su estructura, evitando la erosión, aumenta la capacidad productiva del suelo, se reducen los costos de producción y una menor alteración del suelo.

El uso de la maquinaria en la labranza convencional es de aproximadamente 6 horas/*Ha* para poder surcar un campo; mientras que con la labranza reducida se utilizan aproximadamente 5 horas para esta misma labor y con maquinaria de menor peso e impacto en el suelo, así que la reducción de las horas de maquina es de un 70% (Rebolledo & Jaime, 2000).

Con la LR se evita perdidas de suelo debidas a la erosión causadas por el viento y el agua. A largo plazo se aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo por la descomposición de las cepas de la soca anterior; además se mejoran las propiedades físicas del suelo por la disminución de las labores mecanizadas en la preparación del terreno.

Adicionalmente se puede realizar inmediatamente la preparación del suelo y la siembra del nuevo cultivo.

La no utilización de maquinaria pesada en las diferentes labores permitió ahorrar energía de origen fósil, además de ahorrar tiempo pasando de 5.7 horas en labranza convencional con maquinaria pesada a 4 horas con labranza reducida con maquinaria liviana y logrando disminuir el lucro cesante.



Subsuelo Cenitandent



Subsuelo Triple



Cultivo de disco con vertedera y Surcado

Figura 20. Labores culturales labranza reducida
Fuente: El autor

Siembra



Fumigación soca



Control y Emergencia



Figura 21. Labores culturales labranza reducida II
Fuente: El autor



Figura 22. Erradicación mecánica de los residuos de cepa del cultivo anterior (Hacienda Avelina a la derecha, Hacienda Buchitolo a la izquierda)

Fuente: El autor



Figura 23. Desarrollo del Cultivo a los 9 meses de la Hacienda Avelina

Fuente: El autor



Figura 24. Cosecha a los 13 meses de la Hacienda Avelina

Fuente: El autor



*Figura 25. Desarrollo del Cultivo a los 9 meses de la Hacienda Buchitolo.
Labranza Reducida*
Fuente: El autor



Figura 26. Cosecha a los 13 meses de la Hacienda Buchitolo
Fuente: El autor

Tabla 9.

Comparativo entre Labranza Convencional y Labranza Reducida

Labranza Convencional	Labranza Reducida
Incrementa los costos de producción	Disminuye costos de preparación de suelos y gastos de maquinaria
Deteriora la estructura del suelo	Aumenta la estabilidad contra la erosión
Deteriora las propiedades químicas y biológicas del suelo: Suelo drenado, franco, con densidad de 1.1 a 1.2 g/cm ³ (1.3-1.4 g/cm ³ en suelos arenosos), capa freática bajo los 1.5 a 2 metros bajo la superficie, capacidad de retención de humedad de 15% o superior, PH óptimo cercano a 6.5, micro-organismos (bacterias heterótrofas que descomponen nutrientes como el N, P, S, Fe, y Mn), actinomicetos (bacterias aeróbicas) (NETAFIM Grow More with Less (TM), sf).	Modera mineralización del humus y protege la estructura del suelo
Acelera la oxidación de la materia orgánica	Disminuye efectos negativos de herbicidas y difusión de enfermedades

Acelera la pérdida de humedad en el suelo	Conserva la humedad en el suelo por acción de los residuos del cultivo anterior, los cuales cubren los surcos e impiden la evaporación de agua.
Contribuye a la erosión y contaminación de las fuentes superficiales de agua	Contribuye a la conservación de suelos y cuerpos de agua
Contribuye al cambio climático	Minimiza las condiciones para el cambio climático

Fuente: El autor

5.4. Análisis de costos económicos

Se tomaron los datos de los parámetros de las diferentes labores por los números de pases (repeticiones), teniendo en cuenta el costo de cada pase, calculando el valor final de cada uno, lo que sumado nos da como resultado el presupuesto de cada labor de labranza.

Adicionalmente se realizó el comparativo de los costos de cada labranza, para así calcular la diferencia y verificar cuál de las dos reduce los costos sin afectar la productividad.

Se establecieron las tendencias de los costos para cada labor, así como evaluación en la productividad, desarrollo del cultivo y análisis económico para la implementación de labranza reducida. Para el proceso de **LC** se identificaron los siguientes costos (Ver gráfica 1.)

Gráfica 1.

Costos por Ha Labranza Convencional

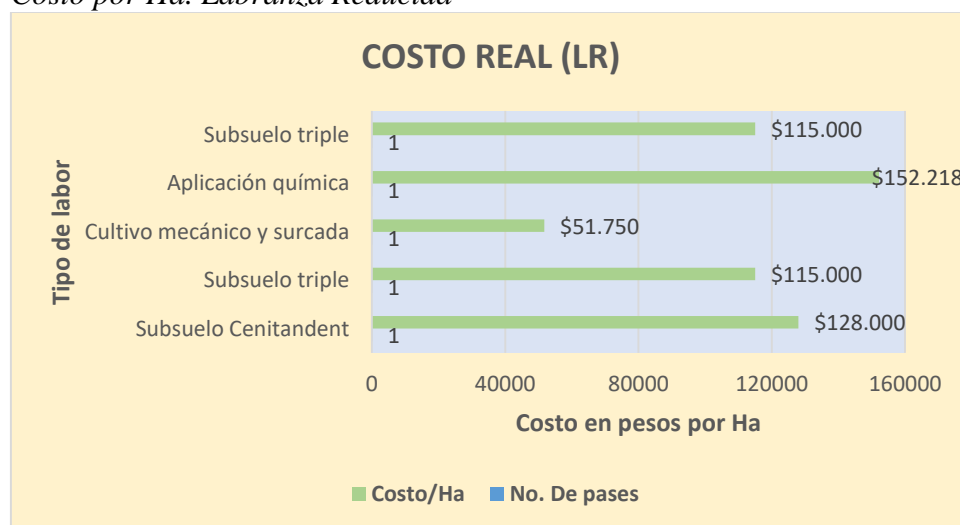


Fuente: El autor

Como se puede apreciar; el proceso de **LC** implica la realización de 7 pases con maquinaria pesada, hecho que afecta visiblemente el suelo, el costo total del proceso es de \$939.000. Para el proceso de **LR** se registraron los siguientes costos (Ver gráfica 2.).

Gráfica2.

Costo por Ha. Labranza Reducida



Fuente: El autor

Como puede apreciarse; el proceso de **LR** implica la realización de 5 pases con maquinaria liviana, lo cual favorece la conservación y cuidado del suelo, el costo total del proceso es de \$561.968.

En el establecimiento de los dos sistemas de labranza, se evaluaron los costos de preparación de suelo para posterior producción del cultivo de la caña de azúcar. En las dos áreas evaluadas, La Hacienda Avelina y la Hacienda Buchitolo, se realizaron las mismas labores de labranza convencional y reducida, encontrando el siguiente análisis de costos (Tabla 10):

Tabla 10.*Análisis de costos para labranza convencional y reducida*

COSTO REAL LR HACIENDA AVELINA Y BICHITOLO				COSTO REAL LC HACIENDA AVELINA Y BICHITOLO			
LABOR	NUMERO DE PASES	COSTO/HA	COSTO TOTAL	LABOR	NUMERO DE PASES	COSTO/HA	COSTO TOTAL
SUBSUELO CENITANDENT	1	\$ 128.000,00	\$ 128.000,00	DESTRUCCION DE CEPAS	2	\$ 148.000,00	\$ 296.000,00
SUBSUELO TRIPLE	1	\$ 115.000,00	\$ 115.000,00	SUBSUELO DE PREPARACION	2	\$ 156.000,00	\$ 312.000,00
CULTIVO MECANICO Y SURCADA	1	\$ 51.750,00	\$ 51.750,00	RASTRA ARADA	1	\$ 148.000,00	\$ 148.000,00
APLICACIÓN QUIMICA	1	\$ 152.218,00	\$ 152.218,00	PULIDA	1	\$ 105.000,00	\$ 105.000,00
SUBSUELO TRIPLE	1	\$ 115.000,00	\$ 115.000,00	SURCADA	1	\$ 78.000,00	\$ 78.000,00
TOTAL		\$ 561.968,00	\$ 561.968,00	TATAL X HA		\$ 635.000,00	\$ 939.000,00

Fuente: El autor

De acuerdo con el análisis realizado en los dos sistemas de labranza para las dos áreas de estudio se estableció que con la labranza reducida se consiguió un ahorro de un 40,26% que equivale a \$ 377.032 por hectárea sin afectar significativamente la producción del cultivo, ya que con la labranza convencional la suerte cerró con un **TCH** de 149 toneladas por hectárea para la Hacienda Avelina y un **TCH** de 148 toneladas por hectárea para la Hacienda Buchitolo; con la labranza reducida la suerte cerró con un **TCH** de 152,4 toneladas por hectárea para la Hacienda Avelina y un **TCH** de 150,0 toneladas por hectárea para la Hacienda Buchitolo.

En la **LR**, al disminuir las labores de destrucción de cepas y pulida se redujeron \$ 401.000 de los costos de preparación del suelo.

6. CONCLUSIONES

En cuanto al primero objetivo específico propuesto en el proyecto aplicado, se puede concluir que el cultivo resultante del proceso de **LC** produjo óptimos resultados, la producción cerró con 149 hectáreas de caña por hectárea en la hacienda Avelina y 148 toneladas de caña por hectárea en la hacienda Buchitolo. Este hecho refleja las bondades del terreno para la producción de caña de azúcar. Sin embargo, se perciben efectos negativos en el suelo que tienen que ver con una excesiva roturación del subsuelo y un incremento en los costos de producción, debido principalmente a la cantidad de pases necesarios para lograr el cometido de erradicación del cultivo anterior. La actividad microbiana al interior del suelo también resultó afectada, pues la roturación profunda (40 Cm) expuso estos organismos al ambiente externo en condiciones de sol y altas temperaturas, hecho que significa afectación en los nutrientes a mediano y largo plazo. El tiempo en promedio utilizado para el uso de maquinaria pesada fue de 6 horas.

Para el segundo objetivo de investigación se puede concluir que, a partir del uso del sistema de **LR**, se pudo incrementar la producción de toneladas de caña por hectárea, la cual ascendió a 150 **TCH** en la hacienda Avelina y a 152,4 **TCH** en la hacienda Buchitolo. Se pudieron identificar los siguientes efectos en el suelo: **i)** Se evidenció una conservación en la humedad del suelo debido al hecho de haber surcado sobre un cultivo anterior, el cual dejó sus residuos como una especie de cubierta de los efectos del sol. **ii)** Se evidencia una menor afectación del suelo puesto que la cantidad de pases de maquinaria pesada fue inferior al proceso de **LC**, la estabilidad del suelo, en términos de estructura, erosión y capacidad productiva del suelo. **iii)** La cantidad de horas promedio de uso de maquinaria liviana fue de 5 horas. Para el tercer objetivo de investigación se puede concluir que el sistema de labranza reducida **LR** produjo una mejor renta en términos de producción y costos de la misma a diferencia del sistema de labranza convencional **LC**. De acuerdo con los resultados del análisis comparativo, con el sistema de **LR** se ahorraron \$377.032 pesos en términos de costos de producción, representados en la menor cantidad de pases de maquinaria pesada y en la menor cantidad de actividades sobre el suelo.

En términos generales, con la evaluación realizada en esta investigación, en el desarrollo de los cultivos de caña de azúcar establecidos con los dos sistemas de labranza, se pudo lograr un método productivo sostenible, donde se obtienen rendimientos adecuados minimizando el impacto al suelo, agua y atmósfera, además de tiempo de labor y energía de origen fósil. El sistema de labranza reducida permitió disminuir los costos de producción en un 40,26%, con respecto a la labranza convencional, sin afectar el resultado de la producción.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Rivera, N. (julio de 2011). Competitividad de la agroindustria azucarera de la huasteca México . *Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Amaya Estévez, A., Cock, J., Hernández, A., & Irvine, J. (1995). Biología. En CENICAÑA, *CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (págs. 31-62). Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar en Colombia - CENICAÑA.
- Artschwager, E., & Brandes, E. W. (1958). *Sugarcane (Saccharum officinarum L): origin, classification, characteristics, and descriptions of representative clones*. Agricultural Research Service, Crops Research Division.
- Colprensa. (21 de julio de 2017). Caña de azúcar, el gran motor de la economía en el Valle del Cauca. *Caracol Noticias*. Obtenido de <https://noticias.caracoltv.com/cali/cana-de-azucar-el-gran-motor-de-la-economia-en-el-valle-del-cauca>
- Delgado, R., & Salas, A. M. (2006). Consideraciones para el desarrollo de un sistema integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una agricultura sustentable en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 56(3).
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, 14(4), 532-550. Obtenido de https://www.jstor.org/stable/258557?seq=1#metadata_info_tab_contents
- Fong Reynoso, C. (2005). El estudio de casos en la investigación de la ventaja competitiva: Criterios a evaluar. *DER-INESER*, 1-14. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/267038570_El_estudio_de_casos_en_la_investigacion_de_la_ventaja_competitiva_criterios_a_evaluar
- Food and Agriculture Organization –FAO-. (2012). *Cuarta Conferencia sobre el Azúcar*. Nadi, Fiji: Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.

Obtenido de <http://www.fao.org/economic/est/est-events-new/conferencia-sobre-el-azucar/es/>

Food and Agriculture Organization –FAO-. (17 de enero de 2014). *La maquinaria agrícola debe evolucionar junto a la agricultura sostenible*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/news/story/es/item/212415/icode/>

García, J., Villatoro, B., Díaz, F., & Sandoval, G. (2014). Preparación de suelos para la siembra de Caña de Azúcar. En M. Melgar, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, & R. Espinosa, *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala* (págs. 108-130). Ciudad de Guatemala: Artemis Edinter.

Henao Puerta, A., & Bolaños Betancourt, C. X. (enero-junio de 2016). Formación SENA para contrarrestar desempleo en la industria de la caña de azúcar. *Rutas de Formación*(2), 32-37.

Humbert, R. P. (1974). *El cultivo de la caña de azúcar*. México: Compañía Editorial Continental.

Larrahondo, J. E., & Villegas, F. (1995). Control y características de la maduración. En CENICAÑA. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (págs. 297-313). Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar en Colombia - CENICAÑA.

MERCASA. (2017). *Alimentación en España 2015. Producción, industria, distribución y consumo*. Madrid: Mercas Editorial.

Moore, P. H. (1971). Investigations of the flowering of *Saccharum*. I. Ontogeny of the inflorescence. *Canadian Journal of Botany*, 49(5), 677-382. doi:<https://doi.org/10.1139/b71-104>

NETAFIM Grow More with Less (TM). (sf). *Requerimientos del suelo para cultivo de caña de azúcar*. Obtenido de sugarcane.crops.com: http://sugarcane.crops.com/s/soil_requirement/

- Rebolledo, J. P., & Jaime, G. (2000). Sistemas de labranza reducida en el Ingenio Manuelita S.A. *Carta Trimestral*, 2(1), 30-34.
- Rodríguez, C. A., & Daza, O. H. (1995). Preparación de Suelos. En *CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (págs. 109-114). Cali: Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar en Colombia - CENICAÑA.
- Sánchez Ortiz, M., Vidal Díaz, M., Betancourt Rodríguez, Y., & Rosa Llano, J. (2010). Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación -SAGARPA. (2015). *Ficha técnica del cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.)*. Comité Nacional para el desarrollo sustentable de la Caña de Azúcar. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tcnica_Ca_a_de_Az_car.pdf
- Sector Agroindustrial de la Caña -ASOCAÑA. (2013). *El sector Azucarero en Colombia. Actualidad*. Obtenido de Sector Agroindustrial de la Caña : <http://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Sector Agroindustrial de la Caña -ASOCAÑA. (2018). *Informe Anual 2017-2018*. Cali.
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO.
- Villadiego, L., & Castro, N. (2013). *Amarga Dulzura. Una historia sobre el origen del azúcar*. Proyecto Carro de Combate. Obtenido de P.
- Zerega Mendez, L. O. (08 de octubre de 2017). *Labranza de cultivo de caña de azúcar*. Obtenido de Ergomix. La comunidad agropecuaria más grandel del mundo: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/labranza-cultivo-cana-azucar-t41259.htm>

