

Nota de Aceptación:

Proyecto de Diseño Aprobado, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.

*Camilo Rocha*

---

HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO  
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



---

JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO  
Director Carrera Ingeniería Industrial

*J-P-G-C.*

---

JUAN PABLO GARCÍA CIFUENTES  
Director(a) Proyecto de Diseño

*María Isabel Díaz Vega.*

---

(MARÍA ISABEL DÍAZ VEGA)  
Jurado 1

*Giovanni Arias Castro.*

---

(GIOVANNI DE JESUS ARIAS CASTRO)  
Jurado 2

Santiago de Cali, diciembre 7 de 2020

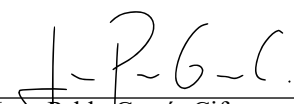
**Jorge Enrique Álvarez Patiño**

Director del programa de Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Pontificia Universidad Javeriana Cali  
Ciudad

Reciba usted un cordial saludo.

Después de haber hecho seguimiento al proyecto de diseño bajo mi dirección denominado “*Diseño de herramienta para mejorar la higiene postural en el corte manual de caña*”, desarrollado por los estudiantes de Ingeniería Industrial Mariana Franco Duarte, Dayanna Medina Arévalo, Ricardo Ortiz Valderruten y Luis Ricardo Quiroz con códigos 8934590, 8925744, 8924782 y 8913693 respectivamente, considero que este cumple a cabalidad con los objetivos propuestos. De igual manera, he leído el documento final a cabalidad el cual avalo para que sea entregado y evaluado.

Cordialmente



Juan Pablo García Cifuentes  
Director del Proyecto  
C.C. 1.112.759.052

Santiago de Cali, diciembre 7 de 2020

Señor

**Jorge Enrique Álvarez Patiño**  
Director del programa de Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Pontificia Universidad Javeriana Cali  
Ciudad

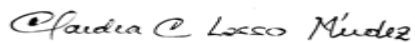
Reciba usted un cordial saludo,

Por medio de la presente certifico que los estudiantes de Ingeniería Industrial Mariana Franco Duarte, Dayanna Medina Arévalo, Ricardo Ortiz Valderruten y Luis Ricardo Quiroz identificados con la cédula de ciudadanía 1112793545, 1144108179, 1004134447 y 1144101921 respectivamente, enviaron y socializaron el Proyecto de Diseño que se titula “*Diseño de herramienta para mejorar la higiene postural en el corte manual de caña*”.

Cordialmente,



Luis Guillermo Amú Caicedo  
Gerente de Campo  
C.C 94468509



Claudia Lasso Méndez  
Fisioterapeuta especialista  
C.C 66862491

## Diseño de herramienta para mejorar la higiene postural en el corte manual de caña

Mariana Franco Duarte<sup>a,c</sup>, Dayanna Medina Arévalo<sup>a,c</sup>, Ricardo Ortiz Valderruten<sup>a,c</sup>, Luis Ricardo Quiroz<sup>a,c</sup>

Juan Pablo García<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

<sup>c</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

---

### Resumen

La agroindustria de la caña es uno de los sectores con gran impacto en Colombia, ya que genera alrededor de 286.000 empleos y aporta al PIB agrícola en un 3,7% a nivel nacional. Sin embargo, los trabajadores están expuestos a lesiones y enfermedades laborales como los trastornos musculoesqueléticos. Actualmente, en un ingenio del Valle del Cauca, específicamente en la cosecha de corte manual de caña el 46% de los corteros con restricciones laborales presentan lesiones en la zona lumbar.

Para abordar esta problemática, se evaluó el sistema actual por medio de la medición de variables relacionadas con el cumplimiento de los requerimientos establecidos por los *stakeholders*. Asimismo, se realizó un análisis de causas donde se identificó que el principal generador del problema es que la herramienta utilizada en la labor exige que el trabajador adopte posturas inadecuadas repetitivamente, como la flexión del tronco con un ángulo mayor a 60°. A partir de allí, se diseñó una herramienta de corte con un sistema de accionamiento con poleas y cuerda, que permite disminuir el esfuerzo realizado por el cortero. También, cuenta con un extensor que ayuda a disminuir la flexión del tronco realizada en el corte.

En este sentido, el proyecto logró mejorar la higiene postural del trabajador realizando diferentes prototipos para obtener el diseño final, considerando las medidas antropométricas de los corteros. Los índices de riesgo laboral como el RULA y el ICKL (*Check List Ocra*) mejoraron un 29% y 40%, respectivamente. Además, se realizó una prueba piloto con un cortero que permitió verificar la postura del trabajador y la efectividad de corte con el diseño propuesto.

*Palabras claves: Ergonomía, lesión lumbar, herramienta, diseño, corteros.*

---

### Abstract

The sugarcane agribusiness is one of the sectors with great impact in Colombia, due it generates around 286,000 jobs and contributes 3.7% to the agricultural GDP at the national level. However, workers are exposed to occupational injuries and illnesses such as musculoskeletal disorders. Currently, in a sugarcane mill in Valle del Cauca, specifically in the harvest of manual cane cutting, 46% of cutters with work restrictions have injuries in the lumbar area.

To solve this problem, the current system was evaluated by measuring variables related to compliance with the requirements established by stakeholders. Likewise, an analysis of causes was carried out where it was identified that the main generator of the problem is that the tool used in the work requires the worker to repeatedly adopt inappropriate postures, such as flexing the trunk at an angle greater than 60°. For this reason, a cutting tool was designed with a pulley and rope drive system, which reduces the effort made by the cutter. Also, it has an extender that helps reduce the flexion of the trunk made in the cut.

In this sense, the project achievement to improve the postural hygiene of the worker by making different prototypes to obtain the final design, considering the anthropometric measurements of the cutters. Occupational risk indices such as RULA and ICKL (*Check List Ocra*) improved by 29% and 40%, respectively. In addition, a pilot test was carried out with a cutter that allowed to verify the worker's posture and the cutting effectiveness with the proposed design.

*Key Words: Ergonomics, lumbar injury, tool, design, cutters.*

---

## Tabla de contenido

I.	PROJECT CHARTER .....	5
II.	DEFINIR.....	7
A.	Contexto y Justificación (¿por qué?).....	7
B.	Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?).....	10
C.	Requerimientos.....	11
1)	Restricciones de diseño (Factibilidad).....	12
2)	Especificaciones de diseño (Características) .....	12
3)	Leyes, normas y estándares (Buenas prácticas).....	12
III.	MEDIR .....	14
D.	Plan de recolección de datos.....	14
E.	Medición del sistema actual .....	16
IV.	ANALIZAR.....	28
F.	Análisis de Causas.....	28
G.	Revisión de literatura.....	30
H.	Exploración de ideas y selección de alternativa .....	33
I.	Objetivos .....	37
J.	Plan de trabajo (PdT).....	37
V.	MEJORAR.....	38
K.	Desarrollo del diseño de la solución.....	38
L.	Validación del diseño propuesto.....	51
V.	CONTROLAR .....	54
M.	Medición de los impactos.....	54
N.	Estandarización de la solución – POE’S (plan de control) .....	60
O.	Conclusiones .....	60
P.	Recomendaciones.....	61
VI.	GLOSARIO.....	64
VII.	REFERENCIAS .....	64
VIII.	ANEXOS.....	67

---

## Índice de Tablas

TABLA I	REQUERIMIENTOS, LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES DE LAS PARTES INTERESADAS.....	13
TABLA II	INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR.....	15
TABLA III	CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL CHECKLIST OCRA.....	16
TABLA IV	PUNTUACIONES OBTENIDAS CON EL MÉTODO RULA .....	20
TABLA V	PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA DIFERENCIA DE MEDIAS DE LA EFICIENCIA DE CORTE MANUAL.....	23
TABLA VI	RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO .....	27
TABLA VII	PLAN DE TRABAJO .....	37
TABLA VIII	MEDIDAS EN POSICIÓN DE PIE POBLACIÓN LABORAL SEXO MASCULINO. MODIFICADO DE [34].....	40
TABLA IX	MEDIDAS MANO POBLACIÓN LABORAL SEXO MASCULINO. MODIFICADO DE [34].....	41
TABLA X	PROPUESTAS DE HERRAMIENTAS PARA EL CORTE DE CAÑA.....	42
TABLA XI	CALIFICACIONES DE HERRAMIENTAS PARA EL CORTE DE CAÑA.....	44
TABLA XII	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TRES SISTEMAS PARA GENERAR POTENCIA .....	47
TABLA XIII	CÁLCULO ICKL CON EL MACHETE.....	52
TABLA XIV	CÁLCULO ICKL CON EL DISEÑO PROPUESTO.....	52
TABLA XV	ICKL CON EL MACHETE.....	52
TABLA XVI	ICKL CON EL DISEÑO PROPUESTO .....	52
TABLA XVII	PUNTUACIONES OBTENIDAS CON EL MÉTODO RULA DISEÑO PROPUESTO .....	54

TABLA XVIII ESTIMACIÓN COSTO PRODUCCIÓN EN SERIE DEL PROTOTIPO FINAL .....	55
TABLA XIX COSTO PROTOTIPO FINAL.....	55
TABLA XX COSTO DOTACIONES DE HERRAMIENTAS ANTES Y DESPUÉS .....	55
TABLA XXI PORCENTAJE DE MEJORA DEL RIESGO LABORAL .....	56
TABLA XXII ESCENARIOS DE EVALUACIÓN .....	56
TABLA XXIII AHORRO ESCENARIO PESIMISTA .....	57
TABLA XXIV AHORRO ESCENARIO MODERADO.....	57
TABLA XXV AHORRO ESCENARIO OPTIMISTA.....	58
TABLA XXVI TABLA DE ANEXOS.....	67

## Índice de Figuras

FIG. 1. ALZADORA EN COSECHA SEMIMECANIZADA [2].....	8
FIG. 2. COSECHA MECANIZADA [2].....	8
FIG. 3. CORTE MANUAL DE CAÑA [5].....	9
FIG. 4. AUSENTISMO LABORAL EN CORTEROS DEL INGENIO [5]. .....	10
FIG. 5. CAUSAS DE AUSENTISMO LABORAL EN EL INGENIO [5]. .....	10
FIG. 6. MATRIZ SALIENCE STAKEHOLDERS.....	11
FIG. 7. RESUMEN ESTADÍSTICO DE ÍNDICE CCR CORTE EN CAÑA QUEMADA. MODIFICADO DE [17].....	17
FIG. 8. RESUMEN ESTADÍSTICO DE ÍNDICE CCR CORTE EN CAÑA VERDE. MODIFICADO DE [17]. .....	17
FIG. 9. VALORACIÓN MEDIANTE EL CCR [12]. .....	18
FIG. 10. CAPACIDAD DEL PROCESO CCR EN CAÑA QUEMADA. MODIFICADO DE [17].....	18
FIG. 11. CAPACIDAD DEL PROCESO CCR EN CAÑA VERDE. MODIFICADO DE [17]. .....	19
FIG. 12. EVALUACIONES DE LOS ÁNGULOS DEL TRONCO. ....	19
FIG. 13. EVALUACIONES DE LOS ÁNGULOS DEL CUELLO.....	20
FIG. 14. POSTURAS Y PUNTUACIONES PARA LOS ÁNGULOS DEL TRONCO [13]. .....	20
FIG. 15. POSTURAS Y PUNTUACIONES PARA LOS ÁNGULOS DEL CUELLO [13]. .....	20
FIG. 16. POSTURAS Y PUNTUACIONES PARA LA POSICIÓN DE LAS PIERNAS [13].....	21
FIG. 17. NIVEL DE RIESGO SEGÚN LA PUNTUACIÓN FINAL OBTENIDA [13].....	21
FIG. 18. RESULTADOS CUESTIONARIO NIVEL DE SATISFACCIÓN LABORAL.....	22
FIG. 19. RESUMEN ESTADÍSTICO PARA LA EFICIENCIA DE CORTE EN VERDE. MODIFICADO DE [14]. .....	22
FIG. 20. RESUMEN ESTADÍSTICO PARA LE EFICIENCIA DE CORTE DE CAÑA QUEMADA. MODIFICADO DE [14]. .....	23
FIG. 21. DIAGRAMA DE CAJA PARA LA EFICIENCIA DE CORTE DE CAÑA EN VERDE Y CAÑA QUEMADA. MODIFICADO DE [14]. .....	24
FIG. 22. DIAGRAMA DE PARETO GRADO DE DOLOR O INCOMODIDAD. ....	24
FIG. 23. GRADO DE DOLOR EN LA ESPALDA BAJA.....	25
FIG. 24. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO MANUAL DE CORTE DE CAÑA. ....	26
FIG. 25. DIAGRAMA BIMANUAL DE UN CICLO DEL PROCESO DE COSECHA: CORTE, DESCOGOLLE Y ENCHORRE. ....	27
FIG. 26. DIAGRAMA CAUSA EFECTO. ....	29
FIG. 27. TRABAJADOR AGRÍCOLA QUE UTILIZA EL SISTEMA DE PALANCA-BRAZO [22]. .....	31
FIG. 28. MÉTODO TRADICIONAL DE COSECHA DE MORA (LADO IZQUIERDO) Y SISTEMA SeCura (LADO DERECHO) [23]. .....	31
FIG. 29. ENSAYOS REALIZADOS PARA LA EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL DISEÑO DEL MANGO ADECUADO [25]. .....	32
FIG. 30. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA MEJORADA EN SOLIDWORKS [26].....	33
FIG. 31. ELECCIÓN DE LAS MEJORES IDEAS DE SOLUCIÓN. ....	35
FIG. 32. ANÁLISIS DE PREFERENCIA DE CRITERIOS. MODIFICADA DE [30].....	36
FIG. 33. ANÁLISIS DE PREFERENCIA DE ALTERNATIVAS POR CRITERIO MODIFICADA DE [30]. .....	36
FIG. 34. RESULTADO FINAL AHP.....	36
FIG. 35. MECANISMO CORTADOR ANTICONTAMINANTE PARA CORTAR TALLOS O CAÑAS DE PLANTAS Y/O VEGETACIÓN SIMILAR A LA HIERBA. [31] 38	38
FIG. 36. HAND-CONTROLLED ROTARY CUTTING IMPLEMENT. [32]. .....	38
FIG. 37. HOZ MECÁNICA ROTATIVA. [33]. .....	39
FIG. 38. MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS POSICIÓN DE PIE.....	40
FIG. 39. MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS MANO. ....	40
FIG. 40. ANÁLISIS FUNCIONAL MACHETE. ....	41
FIG. 41. PROTOTIPOS DE BAJA RESOLUCIÓN.....	45
FIG. 42. SEGUNDO PROTOTIPO FUNCIONAL .....	45
FIG. 43. PRUEBA SEGUNDO PROTOTIPO .....	46
FIG. 44. CLASIFICACIÓN DE POLEAS [36]. .....	48

<i>FIG. 45. PRIMER BOCETO PROTOTIPO FINAL</i> .....	48
<i>FIG. 46. PRIMER BOCETO PROTOTIPO FINAL</i> .....	49
<i>FIG. 47. CÁLCULO LARGO DE LA HERRAMIENTA</i> .....	49
<i>FIG. 48. CÁLCULO DISTANCIA A LA QUE DEBE ESTAR LA MANIJA</i> .....	50
<i>FIG. 49. PROTOTIPO FINAL FUNCIONAL</i> .....	50
<i>FIG. 50. EVALUACIONES DE LOS ÁNGULOS DEL TRONCO DISEÑO PROPUESTO</i> .....	53
<i>FIG. 51. EVALUACIONES DE LOS ÁNGULOS DEL CUELLO DISEÑO PROPUESTO</i> .....	53
<i>FIG. 52. HERRAMIENTA ANTES Y DESPUÉS DE LA MEJORA</i> .....	54
<i>FIG. 53. EVALUACIONES TIR Y VPÑ PARA CADA ESCENARIO</i> .....	59
<i>FIG. 54. MANUAL DEL USUARIO</i> .....	60
<i>FIG. 55. PROPUESTA DE MEJORA HERRAMIENTA</i> .....	62
<i>FIG. 56. PROPUESTA DE HERRAMIENTA, EXTENDIDA</i> .....	63
<i>FIG. 57. VISTA SUPERIOR DEL MANGO, INCLUYENDO LA BATERÍA MORRAL [45]</i> .....	63

## I.PROJECT CHARTER

Descripción ( <i>Business case</i> )		Planteamiento del problema ( <i>Problem statement</i> )		
<p>La agroindustria de la caña es uno de los sectores que más impacto tiene en Colombia, ya que genera alrededor de 286.000 empleos y aporta al PIB agrícola en un 3,7% a nivel nacional. Sin embargo, es una de las industrias más peligrosas, debido a que los trabajadores están expuestos a una gran cantidad de lesiones y enfermedades laborales como los trastornos musculoesqueléticos, enfermedades respiratorias, enfermedades relacionadas con pesticidas, entre otras. Actualmente, en un ingenio del Valle del Cauca, específicamente en la cosecha de corte manual de caña el 46% de los corteros con restricciones laborales presentan lesiones en la zona lumbar.</p> <p>En este sentido, el proyecto actual está orientado al diseño de una herramienta ergonómica que permita mejorar la higiene postural del trabajador por medio de metodologías enfocadas en las necesidades del trabajador, realizando diferentes prototipos para obtener el diseño final.</p>		<p>El corte de la caña requiere que los corteros estén en posiciones de pie prolongadas, pues su jornada laboral oscila entre 8 horas diarias o más, esto implica problemas de circulación, calambres y constantes dolores en las piernas. Así mismo, involucra movimientos repetitivos; cada día un cortero hace 5.400 movimientos del brazo, con el machete subiendo y bajando en golpes rápidos y exactos, lo que produce desgaste muscular y óseo. Esto conlleva a que el ausentismo laboral de los corteros en un ingenio en el 2018 haya sido de un 11%, siendo los desórdenes musculoesqueléticos en un 80% la causa principal, predominando en un 54% los miembros superiores y un 46% las lesiones de columna.</p> <p>Se encontró que el principal generador del problema es que la herramienta utilizada en la labor exige que el trabajador adopte posturas inadecuadas repetitivamente, como la flexión del tronco con un ángulo mayor a 60.</p>		
Impacto de los actores ( <i>Stakeholder's business needs</i> )		Restricciones	Especificaciones	Marco legal
<p>La implementación de una herramienta adecuada permitirá que los corteros de caña mejoren su higiene postural haciendo que el riesgo laboral disminuya, pues se puede prevenir la aparición de desórdenes musculoesqueléticos, especialmente aquellos relacionados con la columna. Además, podría impactar económicamente al ingenio, ya que se reducen los costos producidos por el personal con restricciones laborales y también se aumentaría la disponibilidad de personal calificado para la cosecha de la caña.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actitud del cortero ante la alternativa, predisposición al cambio.</li> <li>- La herramienta debe permitir que se mantenga el rendimiento por cortero en el proceso.</li> <li>- La herramienta no puede superar 1 kg según las GATISO. El método empleado no puede superar los ángulos de confort.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herramienta que permita disminuir porcentualmente las lesiones de columna a largo plazo.</li> <li>- Solución útil, efectiva, cómoda y práctica para los corteros.</li> <li>- Solución que permita la reincorporación de corteros con lesiones.</li> <li>- Los movimientos de los corteros estén dentro de los ángulos de confort plasmados en las GATISO.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ley 9 de enero 24 de 1979 (Titulo III SALUD OCUPACIONAL, Artículos 122 a 124).</li> <li>- Normas de la Universidad, Acuerdo de Confidencialidad.</li> <li>- Normas GATISO para hombro, columna y codo.</li> </ul>
Indicadores de Desempeño ( <i>KPI's</i> )				
Variable	Actualidad	Meta		
Índice Check List Ocro (ICKL).	Caña verde: ICKL= 42,75, inaceptable alto. Caña quemada: ICKL= 43,7, inaceptable alto.	ICKL < 11		
% Costo cardiaco relativo (CCR).	Caña verde: Promedio de %CCR 43,51% Caña quemada: Promedio de % CCR 47,96% Valoración "Algo pesada"	Disminuir promedio %CCR corte para los dos tipos de caña <39% para que la valoración sea "Moderada".		
Puntuación final RULA.	Puntaje total RULA= 7, nivel de riesgo 4.	Disminuir el puntaje total en al menos 3 puntos, llegar a un nivel de riesgo de 2 o menor.		
% Grado de dolor o incomodidad espalda baja	Grado 3 (Severo): 17% Grado 2 (Moderado): 19%	Disminuir: Grado 3(Severo) < 17% Grado 2(Moderado) <19%		
Toneladas promedio de caña cortada por cortero en la jornada laboral (THD).	Caña verde: 3,1021 THD Caña quemada: 5,8917 THD	Mantener o incrementar el rendimiento que se presenta actualmente.		

Satisfacción laboral.	El entorno laboral es en su mayoría satisfactorio, pues este corresponde al 46,15% según los aspectos evaluados. Sin embargo, existe un 26,93% que representa insatisfacción o poca satisfacción, representando inconformidad en los aspectos laborales.	Aumentar el nivel de satisfacción mínimo en un 5%, con el objetivo de que los operarios se sientan conformes en su entorno de trabajo.
-----------------------	--	--

**Objetivo general (Goal statement)**

Diseñar una herramienta ergonómica para el corte manual de caña que permita mejorar la higiene postural del cortero en un ingenio del Valle del Cauca, empleando metodologías de diseño.

**Objetivos específicos (Project scope)**

- Identificar diferentes herramientas de corte para explorar alternativas de diseño, a través de revisión de literatura, investigación de patentes y productos del mercado actual.
- Diseñar como mínimo 3 prototipos para disminuir la incertidumbre y riesgo de fallar con el diseño final propuesto.
- Validar la propuesta final de diseño para verificar la mejora de los indicadores de desempeño, a través de simulación o evaluación en el campo.

**Plan de Trabajo (Project Plan)**

**Equipo de trabajo (Team members)**

Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Área IISE	Nombre	Rol
Investigar herramientas de corte en la agricultura por medio de una revisión de literatura, incluir patentes y productos existentes en el mercado (vigilancia tecnológica).	17/08/2020	04/09/2020	Product design and development	Mariana Franco, Dayanna Medina, Ricardo Ortiz, Luis Ricardo Quiroz	Information seeker Coordinator Evaluator Opinion giver
Determinar las medidas antropométricas de los corteros de caña.	04/09/2020	19/09/2020	Product design and development.	Mariana Franco, Dayanna Medina y Ricardo Ortiz	Information seeker Coordinator Evaluator
Prototipar 3 diseños de una herramienta de corte que cumpla con las necesidades de los corteros.	19/09/2020	- 28/09/2020 - 15/10/2020 - 22/10/2020	Ergonomics and Human factors.	Mariana Franco, Dayanna Medina, Ricardo Ortiz, Luis Ricardo Quiroz	Information seeker Coordinator Evaluator Opinion giver
Evaluar cada prototipo para el corte de caña.	03/10/2020 18/10/2020 27/10/2020	- 04/10/2020 - 19/10/2020 - 28/10/2020	Ergonomics and Human factors.	Mariana Franco, Dayanna Medina y Ricardo Ortiz	Information seeker Coordinator Evaluator Opinion giver
Evaluar el prototipo final funcional con los corteros en el campo o por medio de simulación	29/10/2020	13/11/2020	Quality and Reliability Engineering.	Mariana Franco, Dayanna Medina, Ricardo Ortiz, Luis Ricardo Quiroz	Information seeker Coordinator Evaluator Opinion giver Procedure technician

## II. DEFINIR

### A. Contexto y Justificación

La agroindustria de la caña es uno de los sectores más importantes por el papel que ha jugado en el progreso de Colombia, debido a que es uno de los pocos países azucareros que cosecha y siembra caña durante todo el año, por esta razón la región se ha especializado en este cultivo y es líder en productividad a nivel mundial. El impacto del sector se ve reflejado en el informe anual 2018-2019 que realiza ASOCAÑA (Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia); donde informa que la actividad agroindustrial de la caña está presente en 51 municipios y en 6 departamentos específicamente Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas, Quindío y Meta, generando cerca de 286.000 empleos. Además, durante este periodo se produjo alrededor de 119,61 toneladas de caña por hectárea (TCH) y 13,3 toneladas de azúcar por hectárea (TAH), 196 mil toneladas de miel final producida, 1.702 GWh de energía eléctrica cogenerada, 467 millones de litros de bioetanol producidos para el programa gubernamental de oxigenación de la gasolina en Colombia, 6,5 millones de toneladas de bagazo destinado a la producción de papel y energía eléctrica, térmica y mecánica (fuente no convencional de energía renovable). Lo anterior evidencia el aporte de este sector a la industria contribuyendo en el 2017 el 4,3% del PIB total en el Valle del Cauca y a nivel nacional el sector contribuyó en un 3,7% del PIB agrícola y 0,6% del PIB nacional [1].

En este sentido, el presente proyecto se desarrolla en un ingenio, organización agroindustrial diversificada, multilatinas de origen colombiano. Comenzó sus operaciones hace 156 años y se dedica a la producción de azúcar refinada de alta calidad y bioetanol carburante. Su estrategia y propósito central se basa en un modelo de negocio sostenible, donde sus productos son fabricados partir de fuentes renovables y los recursos naturales se usan de manera adecuada, generando un impacto positivo sobre el bienestar de las comunidades vecinas. Así mismo, esta empresa genera 5.000 empleos directos en Colombia, ha invertido más de COP\$10.600 millones en inversión ambiental anual y más de COP\$23.600 millones en inversión social anual.

Por otro lado, el proyecto se centra en el proceso de cosecha de la caña de azúcar que es una de las operaciones claves dentro de un ingenio, específicamente el corte de la caña. Su importancia radica en que se debe cosechar la materia prima necesaria para cumplir con los presupuestos anuales de molienda y producción en las fábricas de azúcar, con la mejor calidad y en el momento más oportuno.

“La cosecha de caña en el valle geográfico del río Cauca se lleva a cabo a una edad de cultivo aproximada de 13 meses y mediante dos sistemas: semi-mecanizada y mecanizada. En primer lugar, la cosecha semi-mecanizada consiste en hacer corte manual del tallo a ras del suelo por parte de corteros, quienes retiran el cogollo y las hojas cuando el corte es realizado en verde. La caña larga es dejada en chorras ordenadas sobre el suelo, posteriormente es recogida por máquinas alzadoras y depositada en vagones de transporte. Por otro lado, en la cosecha mecanizada se hace uso de máquinas autopropulsadas integrales, las cuales cuentan con diferentes sistemas mecánicos e hidráulicos para cortar el cogollo, hacer el corte basal, trocear los tallos, retirar las hojas y elevar la caña cosechada para depositarla en vagones de transporte. El rendimiento de la cosechadora se reporta en 24-25 ton/h en caña semi limpia. En el año 2015 cerca del 50% de la cosecha de caña en el valle geográfico del río Cauca se realizaba mediante el sistema mecánico” [2].

En la Fig.1, se puede observar la alzadora en un sistema de cosecha semi-mecanizada, donde los corteros se encargan de dejar a disposición de la máquina las *chorras* o agrupaciones de caña para su respectivo alce. Así mismo, en la Fig.2, se muestra un sistema de cosecha mecanizado con cosechadora autopropulsada, tractor articulado y vagón HD 20000.



*Fig. 1. Alzadora en cosecha semimecanizada [2].*



*Fig. 2. Cosecha mecanizada [2].*

Por otra parte, el sector agrícola es una de las industrias con mayores riesgos. El Plan Regional en salud de los trabajadores, desarrollado por la Organización Panamericana de la Salud en el 2001 expone que: “Las condiciones sociales del trabajo, los riesgos y otros factores condicionan a la población trabajadora a una mayor susceptibilidad a las enfermedades, accidentes y desgaste en el trabajo. El impacto de estos factores múltiples sobre la salud de los trabajadores resulta en un perfil epidemiológico caracterizado por la coexistencia de enfermedades típicas de las patologías ocupacionales tradicionales (hipoacusia ocupacional, intoxicaciones agudas por plaguicidas y metales pesados, enfermedades dermatológicas y enfermedades respiratorias), y las recientemente asociadas con el trabajo, (cáncer, asma ocupacional, estrés ocupacional, enfermedades cardiovasculares y osteomusculares, alteraciones inmunológicas y del sistema nervioso)” [3].

En relación con lo anterior, el corte manual de la caña es un trabajo que implica riesgos de carácter físico, químico, mecánicos, eléctricos, psicosociales, ergonómicos y biológicos que pueden afectar al trabajador. Consecuencia de esto, se procura eliminar o controlar estos riesgos, ya que representan una alta probabilidad de generar enfermedades o accidentes de trabajo. El factor ergonómico es uno de los focos principales en el desarrollo de este proyecto, debido a que involucra todos aquellos agentes o situaciones relacionadas con la adecuación del trabajo al hombre. Los objetos, puestos de trabajo, máquinas, equipos y

herramientas cuyo peso, tamaño, forma y diseño pueden provocar sobreesfuerzo, así como posturas y movimientos inadecuados que traen como consecuencia fatiga física y lesiones osteomusculares.

El corte de la caña requiere que el cortero esté en posición de pie prolongada, pues su jornada laboral es de ocho horas diarias o más, lo cual implica problemas de circulación, calambres y constantes dolores en las piernas. Así mismo, involucra movimientos repetitivos; cada día un cortero hace 5.400 movimientos del brazo, con el machete subiendo y bajando en golpes rápidos y exactos, lo que produce desgaste muscular y óseo. Las flexiones repetitivas de tronco y piernas y posturas inadecuadas, conlleva a que el cortero desarrolle alguna de las siguientes patologías: Hipercifosis (Curvatura de la columna hacia adelante), escoliosis (La columna se deforma y se curva hacia los lados), Hiperlordosis (Curvatura de la columna hacia atrás), así como cervicalgias, dorsalgias y lumbalgias [4]. En la Fig.3, se puede observar el proceso de corte manual de la caña, señalando movimientos que están fuera de los ángulos de confort para hombro y columna.



Fig. 3. Corte manual de caña [5].

Otro rasgo importante por señalar es que el corte manual de la caña se puede realizar bajo dos condiciones: caña en verde o caña quemada. La última, facilita el corte para el trabajador, aumenta su rendimiento aproximadamente un 30% y disminuye el porcentaje de materia extraña lo que equivale a mejor calidad [6]. Sin embargo, la quema puede llegar afectar la salud de los trabajadores y de las personas que habitan en las zonas vecinas a los cañaverales debido a la contaminación del aire. Por el contrario, el corte en verde contribuye a la preservación del medio ambiente y mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo principalmente, por el aporte de materia orgánica conformada por la hojarasca [7], pero esta no es una técnica preferida por los corteros debido a que su eficiencia y productividad disminuye en comparación con el corte de la caña quemada. El rendimiento de los corteros se reporta entre 2-4 t/hombre/día para caña semi limpia y entre 5-7 t/hombre/día para caña previamente quemada [2].

Desde el 2012 la empresa empezó a llevar control sobre los diagnósticos de los corteros; a partir del 2017 aproximadamente el 62% de la nómina de corte manual de caña presenta lesiones diagnosticadas y entre el 20% y 30% de los trabajadores presenta síntomas no diagnosticados, las lesiones más comunes son: manguito rotador, hernias discales, epicondilitis y síndrome del túnel carpiano. Como se puede observar en la Fig.4, el ausentismo laboral de los corteros en el 2018 fue de un 11%, siendo los desórdenes musculoesqueléticos en un 80% la causa principal (ver Fig.5), predominando en un 54% los miembros superiores y un 46% las lesiones de columna [5]. Por esta razón, se hace necesario realizar un proyecto que busque mejorar las condiciones de trabajo de los corteros de caña que actualmente laboran en el ingenio interesado, con el objetivo de prevenir y disminuir desórdenes musculoesqueléticos, especialmente aquellos relacionados con la columna, que afecten su calidad de vida, desempeño laboral y dimensión psicosocial. Es de importancia para la empresa solucionar este problema, ya que a nivel económico le cuesta alrededor de USD 2 millones al año y la reubicación de los corteros en otras labores hace que disminuya la disponibilidad de personal calificado para la cosecha de la caña.

AUSENTISMO LABORAL EN CORTEROS ACTIVO			
2015	2016	2017	2018
<b>12%</b>	<b>12%</b>	<b>9%</b>	<b>11%</b>

Fig. 4. Ausentismo laboral en corteros del Ingenio [5].

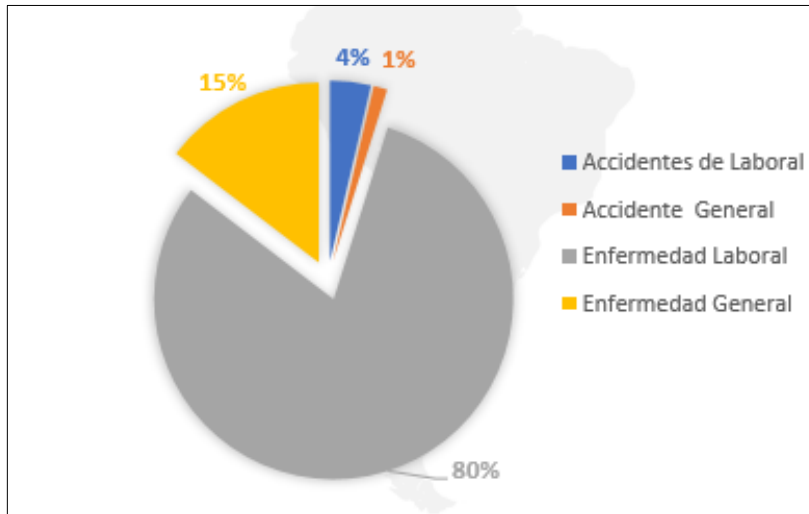


Fig. 5. Causas de ausentismo laboral en el Ingenio [5].

Como motivo principal para hacer el proyecto ahora, está la necesidad de la empresa de cumplir uno de sus objetivos primordiales: el bienestar del trabajador, debido a la relación que esto tiene en la productividad y eficiencia en la compañía. Finalmente, el resultado de este proyecto contribuirá al desarrollo de un nuevo método de corte o herramienta que facilite el trabajo de los corteros, aumentando su seguridad, satisfacción laboral y productividad.

### B. Grupos de interés

Los actores interesados o *stakeholders* son todo tipo de entidades que intervienen en la realización de un proyecto, siendo ellos quienes pueden patrocinar económicamente, gestionar todo tipo de información en relación con la temática tratada, retroalimentar a los encargados de investigar y cualquier necesidad que tengan los encargados de llevar a cabo la investigación. Sin embargo, un *stakeholders* puede ser un obstáculo, ya que este puede impedir la realización del proyecto o búsqueda de la información necesaria. Así mismo, la falta de interés repercute en el desarrollo del trabajo, que en otras palabras se traduce como falta de legitimidad.

Para la identificación de los *stakeholders* se usó la matriz de grupos de interés “*Saliency stakeholders*”, la cual posee una forma de diagrama de Venn en la que se intersecan tres circunferencias refiriéndose a cada uno de los aspectos de una parte interesada. En este caso, la matriz consta de tres partes macro, las cuales son poder, urgencia y legitimidad. Cada una de estas se interseca y forma áreas con rasgos especiales o características que definen la parte ubicada en este sector. Además, existe un núcleo en el que se encuentran los tres rasgos del diagrama y allí se ubica el actor más relevante.

En primer lugar, se observó desde un punto de vista macroscópico en el que se obtuvo al gobierno y a los ingenios como dos entidades ubicadas en el área de poder, gracias a su gran alcance económico y además su influencia en los requerimientos legales para la producción y el manejo con la caña.

En segundo lugar, se ubicaron en la circunferencia de urgencia a los cortadores de caña y sus familias, ya que ellos son los que están siendo afectados directamente pues se reduce su salario mensual y su calidad de vida. Además, la moral de los trabajadores disminuye al ser reubicados o incapacitados por sus dificultades físicas. A la vez, estos dos actores, aunque tienen la urgencia de disminuir la gran cantidad de lesiones que hay anualmente en el ingenio, no son conscientes de que este problema tenga solución y se conforman con su labor, sin buscar algún tipo de cambio lo que les quita legitimidad y poder.

Por otra parte, en la circunferencia de legitimidad, se ubicó a los estudiantes encargados del proyecto y la Pontificia Universidad Javeriana Cali, ya que su interés en la realización de este es muy alto. Sin embargo, no tienen ningún tipo de poder y en cierta medida dependen del ingenio encargado para poder llevar a cabo la realización del proyecto, pues este proporciona información y ofrece espacios para la toma de datos en el campo.

Asimismo, se evidenciaron los *stakeholders* ubicados en las intersecciones de los tres roles macro en el diagrama del “*Salience Stakeholders*”. Para empezar, en la intersección del rol de poder y de urgencia se identificó dentro del área conocida por el diagrama como “peligrosa” a los sindicatos de cañeros, si bien estos se encargan de velar por el derecho y el bienestar de los cortadores de caña, podrían ser una amenaza ya que, si la solución planteada influye en que la demanda de corteros disminuya, esto podría ocasionar posibles problemas para la realización del proyecto ya que se verían afectados.

En la intersección entre poder y legitimidad se ubicó el área de cosecha junto con el supervisor de cosecha, ya que esta área tiene potestad para tomar decisiones y además el interés en reducir los altos costos que producen las lesiones de los cañeros anualmente a la empresa. En concreto, la disminución de los cañeros lesionados aumentaría la productividad del área mencionada, y no solo eso, tendría un impacto económico directo al reducir el costo de incapacidades. Esta es una motivación relevante a la hora de colaborar y poner a disposición los recursos necesarios para poder alcanzar el objetivo del proyecto.

Por otro lado, se identificó dentro del área de urgencia y legitimidad únicamente al servicio de fisioterapia ya que su trabajo principal dentro de la empresa es evitar lesiones de los cañeros, corrigiendo movimientos antinaturales o de alto riesgo para el cañero. Además, busca constantemente todo tipo de soluciones que puedan repercutir en la calidad de vida del cañero y la productividad de la empresa.

Finalmente, dentro del núcleo del diagrama se ubicó al gerente de cosecha, pues es quien se ve afectado directamente con cualquier tipo de acontecimiento relacionado con el personal de corte de caña teniendo así, los tres aspectos macro del diagrama, poder, legitimidad y urgencia representados en la Fig.6.

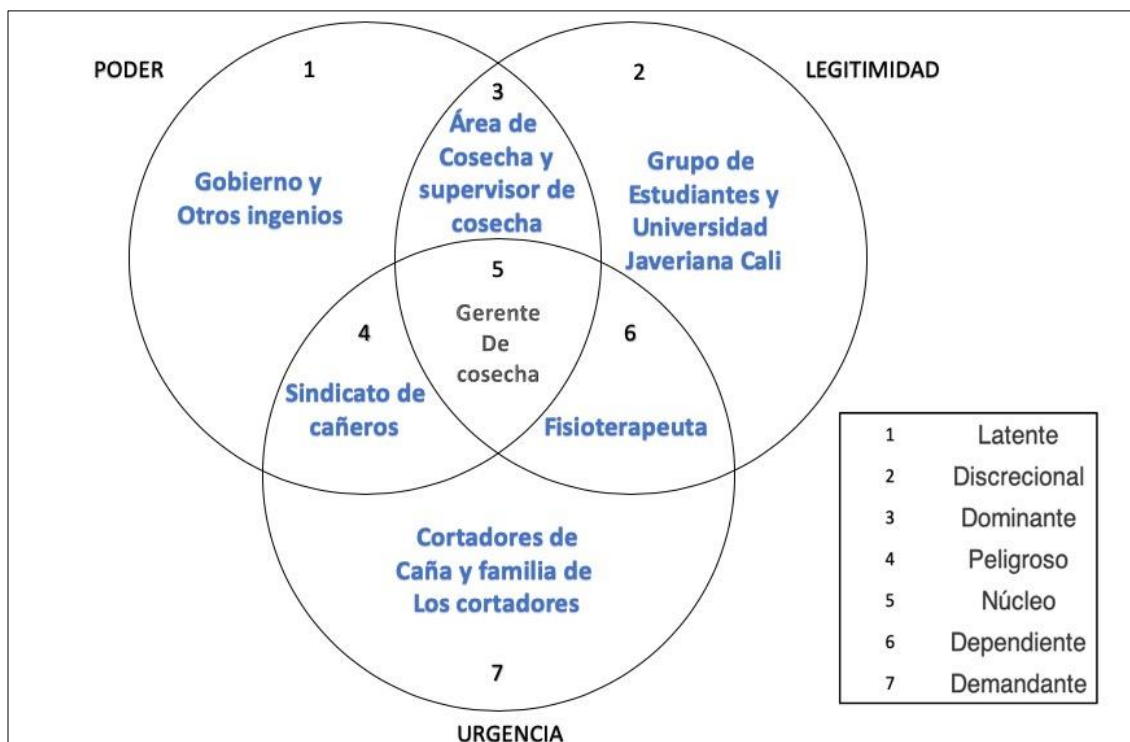


Fig. 6. Matriz Salience Stakeholders.

### C. Requerimientos

En este apartado se realizó el análisis de la factibilidad, las características y las buenas prácticas con base en los requerimientos de las partes interesadas del proyecto, ya que cualquier actividad, estrategia o propuesta de mejora que se exponga afecta directamente el entorno de las personas que están involucradas en este trabajo.

### 1) Restricciones de diseño

Durante el desarrollo del proyecto de diseño, se tuvieron en cuenta factores que podían afectar el entorno social, ambiental y económico, ya que la propuesta de diseño genera cambios en el método y herramienta utilizada en el proceso de corte de caña.

- **Aspecto social:** Con relación al ámbito social, existe predisposición por parte de los trabajadores cuando se debe realizar el corte en verde, pues requiere mayor esfuerzo debido a que la presencia de maleza y materia extraña disminuye la visibilidad del operario, ocasionando que tenga dificultad para manejar la herramienta y realizar el corte. Además, cuando se corta la caña en verde se requiere más tiempo y aunque la dificultad de este tipo de corte implica mayor pago por tonelada cortada, al ser más complejo disminuye su productividad y por ende el pago recibido. También, los corteros al requerir de más esfuerzo al cortar la caña en verde podrían ser reubicados y no podrían continuar con su labor cotidiana, lo cual afectaría su autoestima y posiblemente su entorno social y familiar. También, existe resistencia al cambio por parte de los corteros al usar una nueva herramienta.
- **Aspecto económico:** La parte económica se ve afectada, ya que existe la posibilidad que con la herramienta propuesta disminuya la productividad y la eficiencia de los trabajadores, lo cual ocasiona un impacto en la producción pues se reduce la cantidad de caña cortada por día. Asimismo, si el corte se realiza en verde la eficiencia de la molienda y la extracción en la fábrica se reduce, por ejemplo, en Sudáfrica se han observado reducciones del 15% en la molienda y 0,47 unidades menos de extracción en comparación con la caña quemada. Además, se presenta disminución del Brix, Pol y la pureza del jugo, debido al aumento de la materia extraña [8].
- **Aspecto ambiental:** Al realizarse la cosecha en verde existen algunas ventajas tales como la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente, pues no se realiza quema y la caña es un gran recolector de este contaminante. Asimismo, no se afecta el ecosistema alrededor, ni las características biológicas del suelo. Sin embargo, se presentan algunos factores negativos ocasionados por la generación de residuos durante la cosecha en verde, pues los residuos frescos y húmedos provenientes de la caña cosechada en estado verde, tienen efectos fitotóxicos que reducen la germinación de la caña. Finalmente, esta situación puede derivar en la presencia de problemas fitosanitarios que inciden en la germinación de las cepas [6].

El análisis de las restricciones de factibilidad se efectuó con base en la entrevista realizada a las partes interesadas del proyecto de diseño, la cual se encuentra disponible en el Anexo 1.

### 2) Especificaciones de diseño

El diseño de la propuesta se basa en la voz del cliente (VOC), de donde se buscó captar e interpretar las expectativas, intereses y opiniones de los actores principales: Gerente de cosecha, el supervisor de corte, el área de fisioterapia y algunos corteros. Esta información se recolectó por medio de una entrevista semiestructurada al gerente y fisioterapeuta y una charla informal con los corteros.

En términos generales, se buscó implementar un sistema que permitiera disminuir las lesiones laborales en el corte de la caña, especialmente en columna, con requerimientos específicos de realizar el corte en verde, es decir, sin necesidad de efectuar una quema controlada, realizar un corte eficiente y con el menor costo posible. Se pretendió realizar una propuesta que fuera cómoda y práctica para los corteros, que ayudara a su productividad, maximizara la eficiencia del corte en verde, minimizara la quema de los cultivos, optimizando el sistema hombre-herramienta-entorno y que permitiera reincorporar a los corteros que ya sufrieron lesiones. En la tabla I, se puede observar los requisitos, requerimientos y especificaciones de diseño.

### 3) Leyes, normas y estándares (Buenas prácticas)

Dentro del conjunto de normas legales a tener presentes en este proyecto se encuentran las leyes gubernamentales como la ley 100 de 1993, por la cual se crea el sistema de seguridad social integral [9]. Así mismo, la ley 1562 de 2012 del Sistema General de Riesgos Laborales y Salud Ocupacional [10]. Por otra parte, en la empresa rigen normas internas y pilares como la sostenibilidad, buenas condiciones para sus trabajadores que se tienen que asegurar. Además, los trabajadores, junto con los sindicatos y los directivos de la empresa por medio del contrato, estipulan los beneficios, tratos y seguros de la convención colectiva del trabajo. Adicionalmente, se tuvo en cuenta los ángulos de confort de los trabajadores, descritos en las GATISO (Guía de Atención Integral de Salud Ocupacional Basada en la Evidencia) y el manual de procedimientos para la rehabilitación y reincorporación ocupacional de los trabajadores en el sistema general de riesgos profesionales del 2010.

En la tabla I se puede observar una descripción breve de las leyes, normas y estándares que se deben tener en cuenta durante el desarrollo del proyecto.

**TABLA I**  
REQUERIMIENTOS, LEYES, NORMAS Y ESTÁNDARES DE LAS PARTES INTERESADAS

	Grupos de Interés	VOC (Requisitos del cliente)	Restricciones de diseño	Especificaciones de diseño	Leyes, Normas, Estándares	
					Legislación y requisitos aplicables	Importancia o efecto
1	Cortadores de caña	Evitar lesiones o enfermedades que afecten su desempeño laboral como cortero.	Actitud del cortero ante la alternativa, predisposición al cambio de sistema y comodidad.	Disminución porcentual de las lesiones en columna. Reincorporación de corteros con lesiones. Aumentar la satisfacción del trabajador.	Ley 9 de enero 24 de 1979 (Titulo III SALUD OCUPACIONAL, Artículos 122 a 124)	Uso y la implementación de elementos de protección Personal en los lugares de trabajo.
2	Familia de los Corteros	Asegurar el bienestar de sus familiares que se desempeñan en corte. Que regresen a su casa con la misma salud con la que salieron a trabajar.	-	-	N/A	N/A
3	Gobierno	Cumplir todo el conjunto de leyes y normas estipuladas.	-	-	Ley 1562 de 2012	Sistema General de Riesgos Laborales y Salud Ocupacional
					Ley 100 de 1993	sistema de seguridad social integral
4	Otros Ingenios	Que la alternativa de solución desarrollada pueda ser replicada para que sus corteros tampoco sufran algún tipo de lesión.	Costo elevado de la alternativa, poco impacto con respecto al beneficio. Copia del proyecto.	Maximizar la relación beneficio /costo.	N/A	N/A
5	Grupo de Estudiantes	Desarrollar el proyecto de la mejor manera, solucionando el problema de manera efectiva, con el objetivo de obtener experiencia y una buena calificación.	Cumplir con todas las restricciones y sugerencias de las partes interesadas. El difícil acceso a las zonas donde trabajan los corteros. Poco conocimiento en ergonomía y del proceso.	Encontrar una solución al problema de lesiones laborales de los corteros que sea útil y efectiva.	Normas de la Universidad, Acuerdo de Confidencialidad	N/A
6	Gerente de Cosecha	Diseñar un método o herramienta con la cual, el corte se realice en verde, es decir, sin necesidad de realizar una previa quema controlada, además que permita el corte eficiente y con el menor costo posible.	Que el corte en verde sea más perjudicial para los corteros. Que los corteros estén en zonas de difícil acceso alejadas del ingenio. Sindicato	Mejorar la eficiencia y disminuir las lesiones de los corteros. Disminuir el 80% actual del ausentismo laboral causado por desórdenes musculoesqueléticos. .	Pilares de la Empresa, buenas condiciones. Beneficios, tratos y seguros de la convención colectiva del trabajo.	Cumplir los acuerdos de la convención segura del trabajo
7	Área de cosecha y supervisor de corte	Tener una personal calificado y en condiciones buenas de salud para cumplir con el presupuesto de molienda y realizar la cosecha en el momento oportuno.	Que interfiera con la producción planeada y se disminuya la productividad del corte	Que el número de corteros enfermos cada mes disminuya.	N/A	N/A

8	Fisioterapeuta	Diseñar un método o herramienta ergonómica que permita disminuir o eliminar las enfermedades laborales de los corteros y que estos no sobrepasen los ángulos de confort. Además de la reincorporación laboral de los que ya tengan una lesión.	La herramienta no puede superar 1 kg según las normas GATISO. El método empleado no puede superar los ángulos de confort. Reincorporación de los corteros que ya tengan las lesiones	Que los movimientos de los corteros estén dentro de los ángulos de confort plasmados en las normas GATISO.	Normas GATISO para hombro, columna y codo.	Disminución de lesiones y cumplimiento con los ángulos de confort.
9	Sindicato de cañeros	Que el Ingenio brinde las mejores condiciones de trabajo para los corteros.	Que se organice un paro en el cual no poder obtener datos del corte.	Bajar nivel de personas con lesiones	Ley 584 de 2000	Derecho a la asociación libre en defensa de sus intereses.

## II. MEDIR

### D. Plan de recolección de datos

El plan de recolección de datos fue realizado con el objetivo de medir las variables más significativas que respondan a los requerimientos de los *Stakeholders*. Cabe resaltar que, se trabajó con datos simulados o estimados a partir de literatura, pues debido a la emergencia sanitaria por el COVID-19 no se lograron obtener datos reales de algunas variables. El cálculo de las variables principales y la simulación de su recolección se pueden ver en el Anexo 2. Así mismo, estas variables se componen de unas variables secundarias que fueron analizadas en el Anexo 3. A continuación, la descripción de las variables principales:

- Nivel de riesgo asociado al trabajo repetitivo para corte en caña quemada y verde:** Probabilidad de desarrollar una patología por actividades de tipo repetitivo, se determina con el método *Check List Ocra* [11]. Fue necesario determinar el tiempo promedio de ciclo de trabajo (corte, *descogolle* y *enchorre* de la caña), el cual se empleó en el método como el tiempo neto de ciclo (TNC). Así mismo, el tiempo de afilado de machete que se usó como el tiempo de trabajo no repetitivo (TNR) y el tiempo de recuperación que se usó como el tiempo de pausa activa (P).
- Coste cardiaco relativo de trabajo en caña quemada y en verde (%CCR):** Grado en el que el trabajador está adaptado al puesto y a su demanda energética, también llamado carga de trabajo o consumo energético [12]. Para calcular esta variable se debe determinar la frecuencia cardiaca de trabajo (FCT), la frecuencia cardiaca en reposo (FCR) y la frecuencia cardiaca máxima (FC<sub>max</sub>). El porcentaje de CCR se calcula con la fórmula (1).

$$\%CCR = \frac{(FCT - FCR)}{(FC_{\max} - FCR)} \quad (1)$$

Donde se usa la fórmula (2) tomada de [12]:

$$FC_{\max} = 220 - \text{Edad del trabajador} \quad (2)$$

- Nivel de riesgo asociado a las posturas y levantamiento de carga para el ciclo de trabajo:** Probabilidad de desarrollar una patología debido a la carga postural, fuerzas ejercidas o cargas soportadas por el trabajador [13].
- Satisfacción laboral:** Conformidad de los trabajadores en cuanto a su entorno laboral como condiciones ambientales, relación con sus compañeros de trabajo, kit de trabajo, trato recibido por sus superiores, etc. Ver Anexo 4
- Toneladas de caña cortada quemada y en verde por cortero:** Son las toneladas hombre día THD, que permiten conocer las diferencias entre los dos tipos de corte a nivel de productividad y cuál es el rendimiento actual de los corteros. [14]
- Grado de dolor o incomodidad:** Variable subjetiva que hace referencia al dolor o incomodidad que siente el cortero en determinadas partes de su cuerpo. La recolección de la información se hizo por medio de una entrevista, ver Anexo 5.

La recolección de datos para las variables cuantitativas implica calcular el tamaño de muestra, en este caso, se debe hacer corrección por población finita, debido a que actualmente los corteros activos sin restricciones médicas en el ingenio son 126, como se muestra en la ecuación (3).

$$n_0 = \frac{(Z\sigma)^2}{\varepsilon^2} \rightarrow n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad (3)$$

Donde Z es 1,96 con un nivel de confianza del 95% debido a que los parámetros que se estimaron no requieren de un nivel de certeza del 99% ya que no tienen una alta severidad,  $\varepsilon$  es el error máximo permitido establecido por el investigador; el cual toma un valor de 0,2 seg,  $\sigma^2$  es la varianza poblacional estimada con una muestra de 22 datos de tiempos de ciclo de trabajo con un valor de 1,24 seg y N es el tamaño de la población, 126 corteros sin restricciones laborales. En este caso, debido a falta de información de la varianza poblacional de algunas variables, se tomó como tamaño de muestra la calculada para el tiempo de ciclo de trabajo en caña quemada, donde se obtuvo la información necesaria por medio de videos, el resultado de esta fórmula fue evaluar un total de 68 corteros en todas las variables como se muestra en (4).

$$n_0 = \frac{(1,96 \cdot 1,24)^2}{0,2^2} = 147,6 \quad n = \frac{147,6}{1 + \frac{147,6}{126}} = 68 \quad (4)$$

Finalmente, con las variables anteriores se determinaron los indicadores de desempeño o KPI's como se muestra en la Tabla III, que permiten tener un punto de comparación entre el sistema actual y las metas propuestas por los *stakeholders*.

TABLA II  
INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR

Enfoque KPI's	KPI's	Objetivo	Descripción	Indicador
Riesgo laboral	Índice <i>Check List Ocra</i> (ICKL)	Valorar el riesgo asociado al trabajo repetitivo y la falta de descansos o periodos de recuperación.	Se analizaron los diferentes factores de riesgo de forma independiente, ponderando su valoración por el tiempo durante el cual cada factor de riesgo está presente dentro del tiempo total de la tarea. Así, se obtiene el Índice <i>Check List OCRA</i> (ICKL), valor numérico que permite clasificar el riesgo como Óptimo, Aceptable, Muy Ligero, Ligero, Medio o Alto. [11]	$ICKL = (FR + FF + FFz + FP + FC) \cdot MD$ Donde: FR= Factor de recuperación. FF= Factor de frecuencia. FFz=Factor de fuerza. FP= Factor de posturas y movimientos. FC=Factor de riesgos adicionales. MD= Multiplicador de duración.
	Media % Costo cardiaco relativo (CCR)	Estimar el grado en el que el trabajador está adaptado al puesto y a su demanda energética.	Para su obtención, se hizo uso de la fórmula (1). Posteriormente, se promedian los resultados individuales y se evalúa de manera global la carga física del puesto de trabajo con el criterio de Chamoux [12]. Además, se estima la cantidad de corteros que sobrepasan los valores recomendados.	$Prom\%CCR = \frac{\sum \%individuales\ CCR}{Número\ de\ datos}$
	Puntuación final RULA	Evaluar la carga postural o carga estática de la labor.	El método RULA evalúa posturas individuales, aquellas que adopta el trabajador en el puesto [13]. Se seleccionaron las posturas que involucran movimientos del tronco, cuello y piernas ya que es la zona en la que se enfoca el proyecto. Fue necesario medir los ángulos de cada postura por medio del software Kinovea.	$Puntuación\ final\ RULA = Puntuación\ C\ vs\ Puntuación\ D.$ Donde: $Puntuación\ C = puntuación\ cuello + puntuación\ tronca + puntuación\ piernas + puntuación\ actividad\ repetitiva.$ $Puntuación\ D = puntuación\ cuello + puntuación\ tronco + puntuación\ piernas + puntuación\ por\ carga\ o\ fuerzas\ ejercidas.$
	% Grado de dolor o incomodidad	Identificar las zonas más propensas a sufrir enfermedades musculoesqueléticas y conocer el grado de molestia o dolor que siente el cortero.	Se realizó una encuesta a 36 corteros de un ingenio, donde se debía especificar el grado de dolor o incomodidad en cada parte de su cuerpo.	$\% \text{ Grado de dolor del total de personas encuestadas} = \frac{\text{número de personas que registran grado de dolor en la parte del cuerpo estudiada}}{\text{total personas encuestadas}}$

Rendimiento	Toneladas promedio de caña cortada por cortero en la jornada laboral (THD)	Conocer las toneladas de caña que puede cortar en promedio un cortero con el método y herramienta actual.	Se utilizó información secundaria de un estudio realizado por TECNICAÑA donde indicaban los rangos de THD para caña quemada y semi limpia [14]. A partir de estos datos, se generaron los datos con un comportamiento normal.	$\text{Promedio} = \frac{\sum \text{Rendimiento cortero}}{\text{Total corteros}}$ <b>Promedio de las toneladas de caña cortada por cortero en un día laboral</b>
Entorno y condiciones de trabajo	Satisfacción laboral	Permite conocer cómo se siente el cortero en su ambiente laboral con el método y herramientas que utiliza.	Realización de cuestionario de satisfacción de Minnesota (MSQ) [15], revisión 1967 y preguntas basadas en la batería de instrumentos para la evaluación de factores de riesgo psicosocial [16]. Ver Anexo 4	$\% \text{ Nivel de satisfacción} = \frac{\text{número de respuestas por nivel de satisfacción}}{\text{número total de respuestas}}$

### E. Medición del sistema actual

Posterior a la recolección de los datos requeridos se interpretó la información, para esto se emplearon herramientas de análisis estadístico como Minitab y se caracterizó el sistema desde lo más general a lo más específico utilizando diagramas como SIPOC, diagrama de flujo y diagrama bimanual.

#### 1. Nivel de riesgo asociado al trabajo repetitivo para corte en caña quemada y verde:

Por medio del método de *Check list* OCRA se realizó la medición de esta variable, que se enfoca en el trabajo repetitivo de la tarea. Para su cálculo se usaron unas variables secundarias como lo son: Tiempo de ciclo de trabajo en caña quemada y en verde denominado también tiempo neto de ciclo (TNC), tiempo de recuperación o de pausa activa en caña quemada y verde (P) y el tiempo de afilado también llamado tiempo de trabajo no repetitivo (TNR). La recolección de estas variables se encuentra en el anexo 2 y su análisis en el anexo 3.

Después de realizar los cálculos preliminares y determinar la puntuación para cada factor de riesgo se obtuvo un índice de *Check List* OCRA para corte de caña quemada de 42,8 y en verde de 43,7 como se muestra en la Tabla III. Estos resultados son muy altos, ya que el método clasifica la puntuación mayor a 22 como puestos de trabajo peligrosos y recomienda una acción inmediata.

TABLA III  
CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL CHECKLIST OCRA

Factores	Puntuación caña en verde	Puntuación Caña quemada
Factor de recuperación (FR)	4	4
Factor de frecuencia (FF)	3	4
Factor de fuerza (FFz)	24	24
Factor de posturas y movimientos (FP)	11	11
Factor de riesgos adicionales (FC)	3	3
Multiplicador de duración (MD)	0,95	0,95
Índice de Checklist OCRA (ICKL)	42,8	43,7

2. **Coste cardiaco relativo de trabajo en caña quemada y en verde (%CCR):** Al aplicar la fórmula del indicador se obtiene un porcentaje que puede ser un valor aproximado a la carga de trabajo relativa y el consumo energético. Como se muestra en las Fig.7 y Fig. 8 la variable CCR sigue una distribución normal en ambos casos y su media es de 43,51% para caña quemada y 47,96% para caña semi limpia, es decir, el %CCR es mayor al realizar el corte en verde.

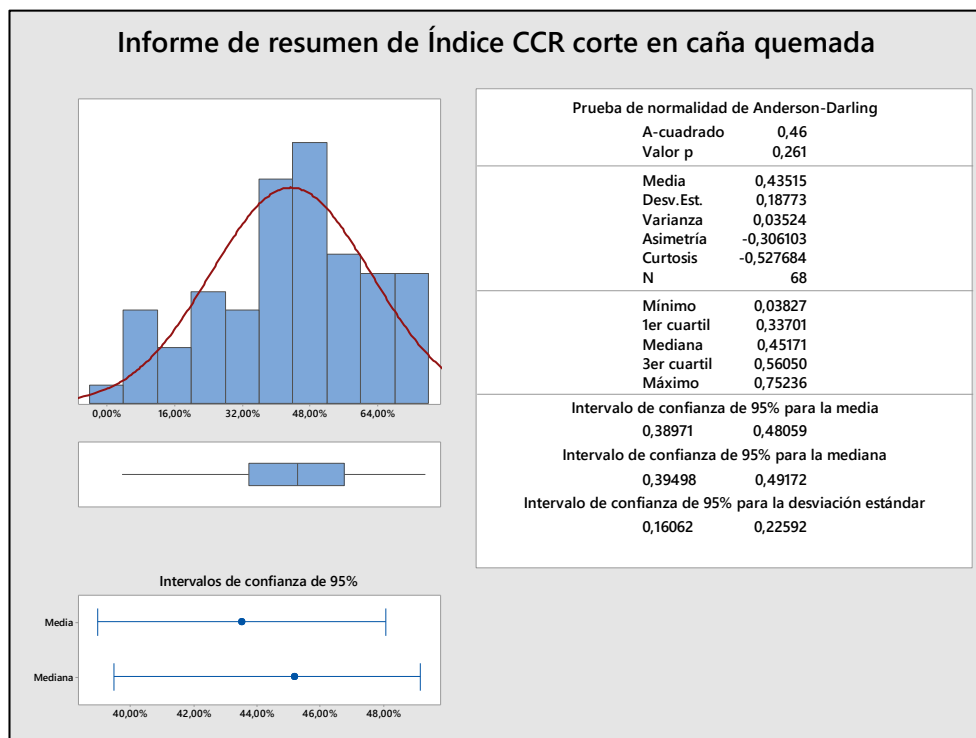


Fig. 7. Resumen estadístico de Índice CCR corte en caña quemada. Modificado de [17].

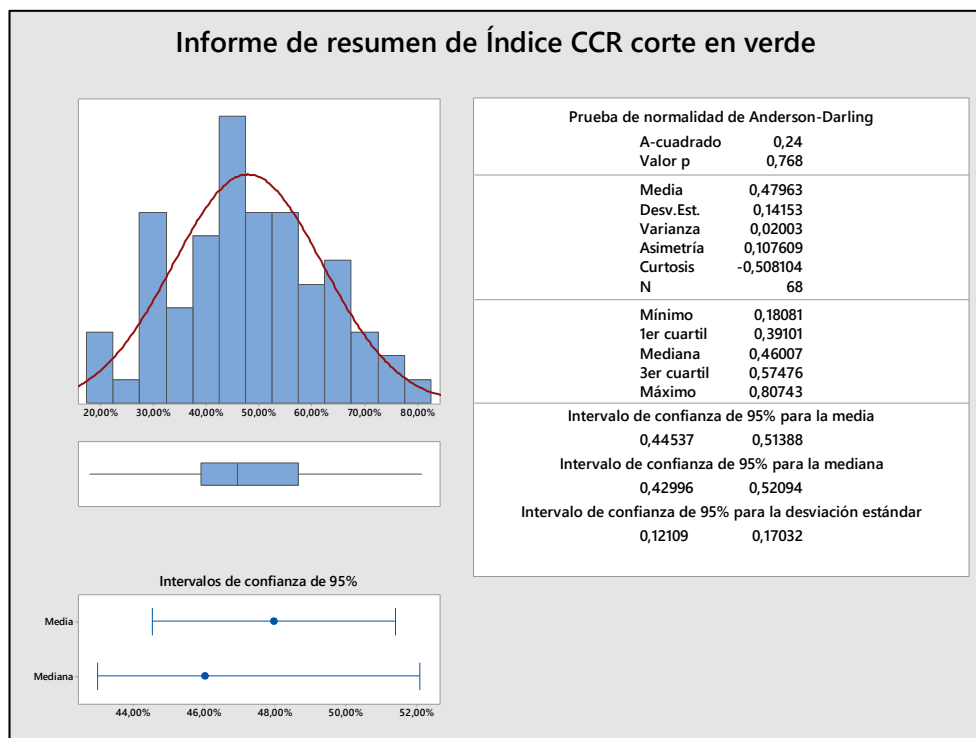


Fig. 8. Resumen estadístico de Índice CCR corte en caña verde. Modificado de [17].

Además, se empleó el criterio de Chamoux para evaluar de manera global la carga física del puesto de trabajo ocupado durante jornadas completas (8 horas) [12]. Utilizando el promedio de los datos del %CCR tanto para caña quemada como en verde se obtuvo que la carga de trabajo al estar entre 40% y 49% es algo pesada como se observa en la Fig.9.

Valoración mediante CCR (Chamoux)	
Puntos	Valoración
0-9	Muy ligera
10-19	Ligera
20-29	Muy moderada
30-39	Moderada
40-49	Algo pesada
50-59	Pesada
60-69	Intensa

Fig. 9. Valoración mediante el CCR [12].

Finalmente, se realizó un análisis de capacidad para obtener el porcentaje de corteros que sobrepasan un valor del 50% el %CCR. Debido a que el nivel de la carga de trabajo relativa aceptable debe ser inferior al 50 % y es recomendable que se encuentre entre 30-35 % para toda la jornada laboral. Además, un trabajo estático y repetitivo de los músculos puede provocar fatiga y reducir la capacidad de trabajo a niveles muy bajos de fuerza relativa [18]. Es por esto, que los corteros que presentan un índice superior al 50% pueden perder peso corporal, sentir incomodidad, fatiga y tener mayor probabilidad de contraer una lesión.

El porcentaje de corteros que sobrepasan el 50% de la carga de trabajo para caña quemada corresponde al 36,76% como se muestra en la Fig. 10. y el 41,18% para caña verde como se muestra en la Fig.11, lo que puede ocasionar consecuencias en su salud.

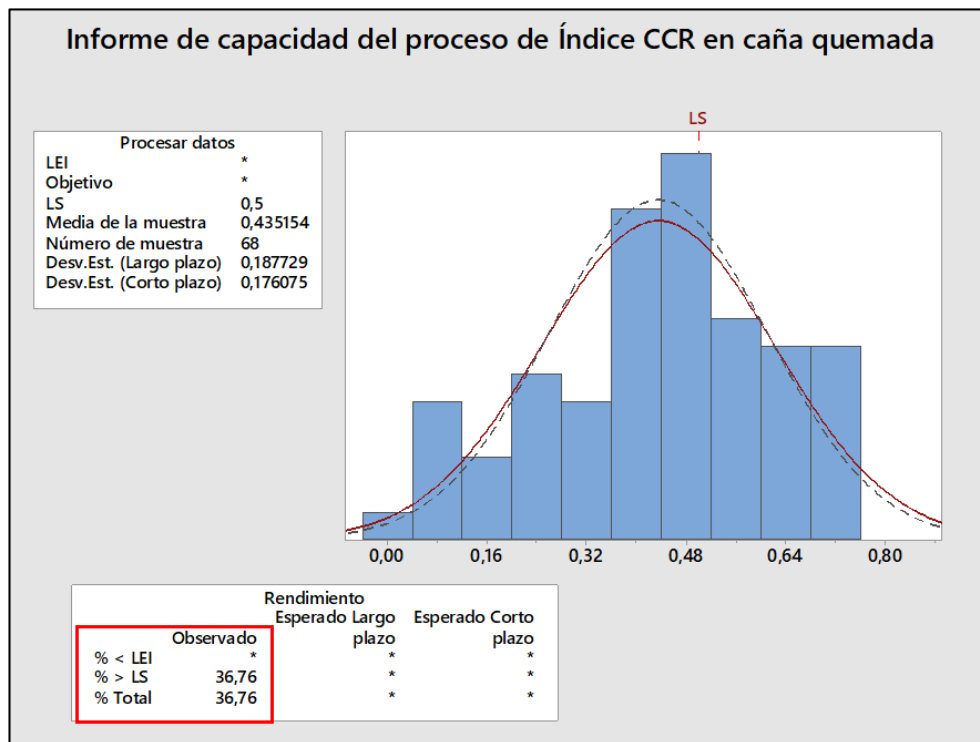
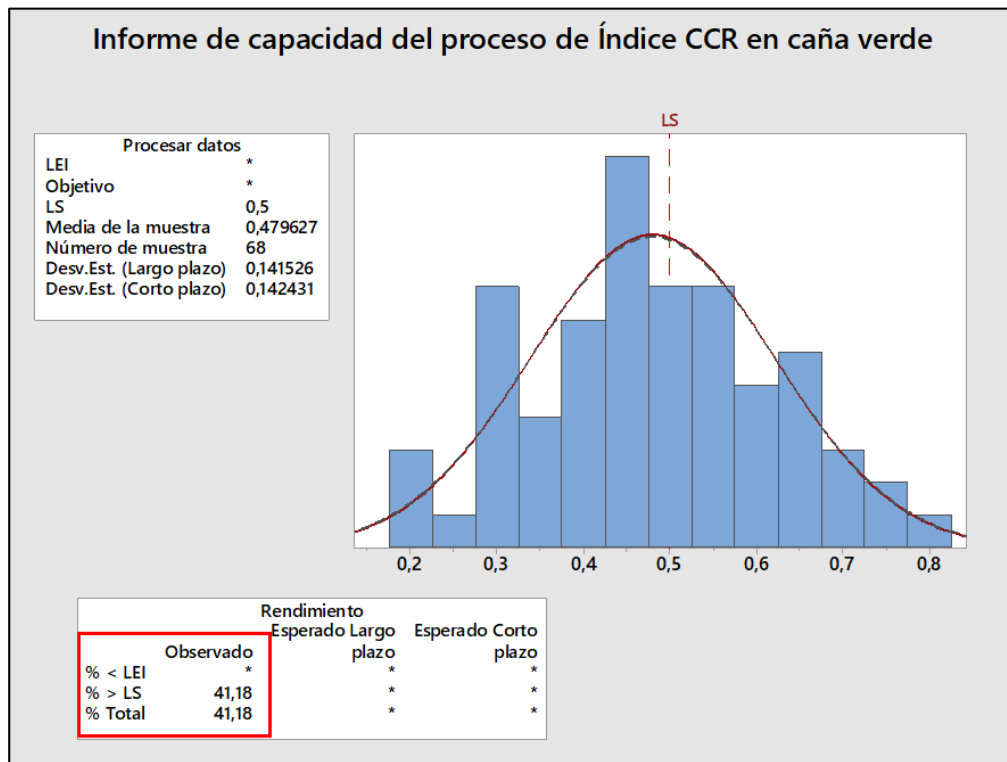


Fig. 10. Capacidad del proceso CCR en caña quemada. Modificado de [17].



*Fig. 11. Capacidad del proceso CCR en caña verde. Modificado de [17].*

3. **Nivel de riesgo asociado a las posturas:** Se realizaron evaluaciones a los ángulos formados por la postura de un cortero simulando el proceso de corte (ver Fig.12. y Fig.13.), donde se observó que los ángulos del tronco se encuentran entre 57° y 66°, para el cuello variaban entre 15° y 16° y la puntuación de las piernas oscilaba entre 1 y 2.



*Fig. 12. Evaluaciones de los ángulos del tronco.*

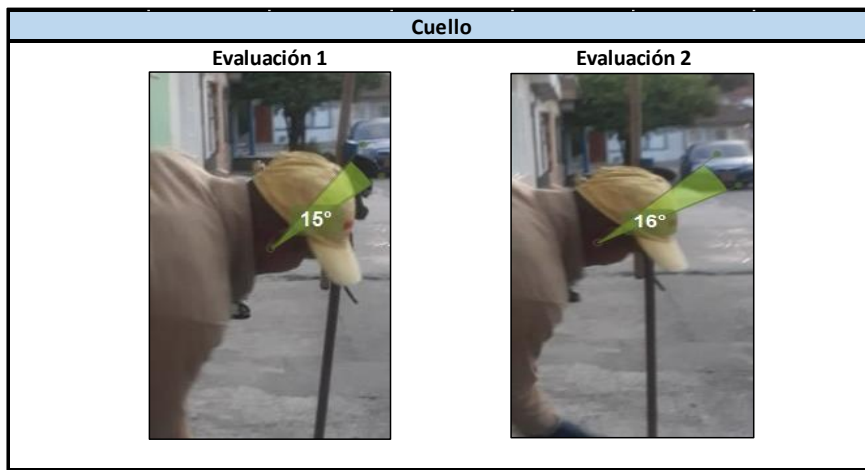


Fig. 13.. Evaluaciones de los ángulos del cuello.

A partir de los ángulos obtenidos se asignaron las puntuaciones correspondientes a cada miembro del Grupo B comparándolos con las posturas del método (ver Fig.14, Fig.15 y Fig.16). En la Tabla IV se muestran los resultados obtenidos en promedio, donde se evidencia que la puntuación total fue 7, es decir, esta actividad representa un nivel de riesgo de 4 indicando que se requieren cambios urgentes en la tarea como se muestra en la Fig.17.

TABLA IV  
PUNTUACIONES OBTENIDAS CON EL MÉTODO RULA

Grupo B			Puntuación total Grupo B	Puntuación total por actividad repetitiva	Puntuación por carga o fuerza	Puntuación final RULA
Puntuación Tronco	Puntuación Cuello	Puntuación Piernas				
4	2	2	5	6	8	7



Fig. 14.. Posturas y puntuaciones para los ángulos del tronco [13].



Fig. 15. Posturas y puntuaciones para los ángulos del cuello [13].

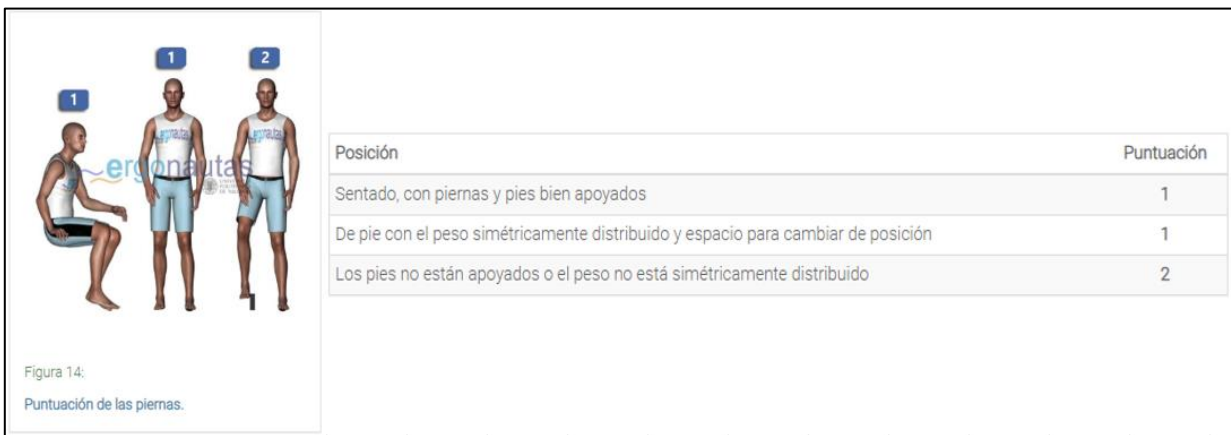


Fig. 16. Posturas y puntuaciones para la posición de las piernas [13].

Puntuación	Nivel	Actuación
1 o 2	1	Riesgo Aceptable
3 o 4	2	Pueden requerirse cambios en la tarea; es conveniente profundizar en el estudio
5 o 6	3	Se requiere el rediseño de la tarea
7	4	Se requieren cambios urgentes en la tarea

Fig. 17. Nivel de riesgo según la puntuación final obtenida [13].

4. **Satisfacción laboral:** Para analizar esta variable se realizó un cuestionario de satisfacción laboral a dos corteros del sector, los cuales llevan entre 20 y 21 años realizando esta labor. Debido a que no fue posible realizarla a más corteros, se toma esta información como aporte al proyecto.

La finalidad del cuestionario es evaluar el nivel de satisfacción de los corteros con base en aspectos que se presentan en su entorno de trabajo, los cuales se califican de 1 a 5, siendo 1 el menor nivel de satisfacción y 5 el mayor como se muestra en el Anexo 4.

Los resultados obtenidos reflejan que el 46,15% corresponde a un nivel satisfactorio del entorno laboral por parte de los corteros, siendo la respuesta más frecuente y solo el 3,85% recae a que no se tiene ninguna satisfacción con algunos de los aspectos establecidos en el cuestionario como se muestra en la Fig. 18.



Fig. 18. Resultados cuestionario nivel de satisfacción laboral.

5. **Toneladas de caña cortada quemada y en verde por cortero:** Esta variable requiere de un análisis detallado de los datos de eficiencia de corte para caña, la cual se encuentra entre 2 y 4 THD y entre 5 y 7 THD para caña semi limpia y quemada, respectivamente [14]. El análisis de la variable se hizo realizando una simulación, teniendo en cuenta la media y desviación estándar de datos uniformes generados a partir del rango de eficiencia encontrado para caña quemada y semi limpia y así posteriormente generar datos normales para evaluar la eficiencia.

Los resultados correspondientes a la eficiencia de corte en verde indican que la media de los datos es de 3,10 THD con una desviación de 0,57 y con un 95% de confianza los datos se encuentran entre 2,96 y 3,24 THD como se observa en la Fig.19.

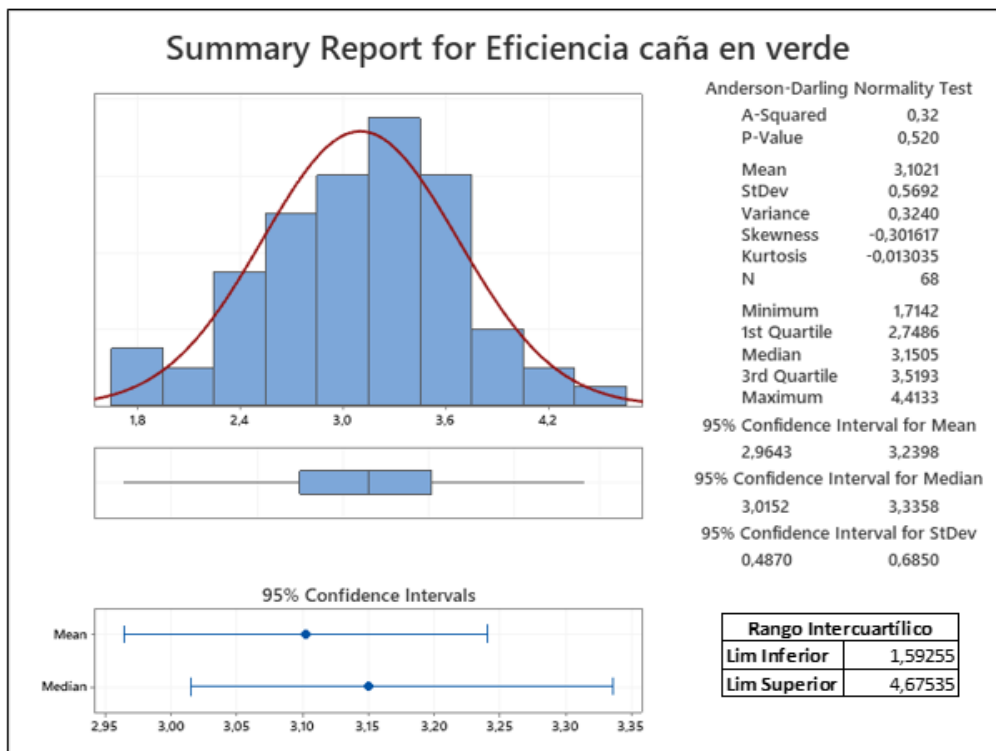


Fig. 19. Resumen estadístico para la eficiencia de corte en verde. Modificado de [14].

Por otra parte, se puede observar en la Fig. 20 que la media para los datos de la eficiencia de corte de caña quemada es de 5,89 THD con una desviación de 0,56 y el promedio de los datos se encuentran entre 5,76 y 6,03 THD con un 95% de confianza.

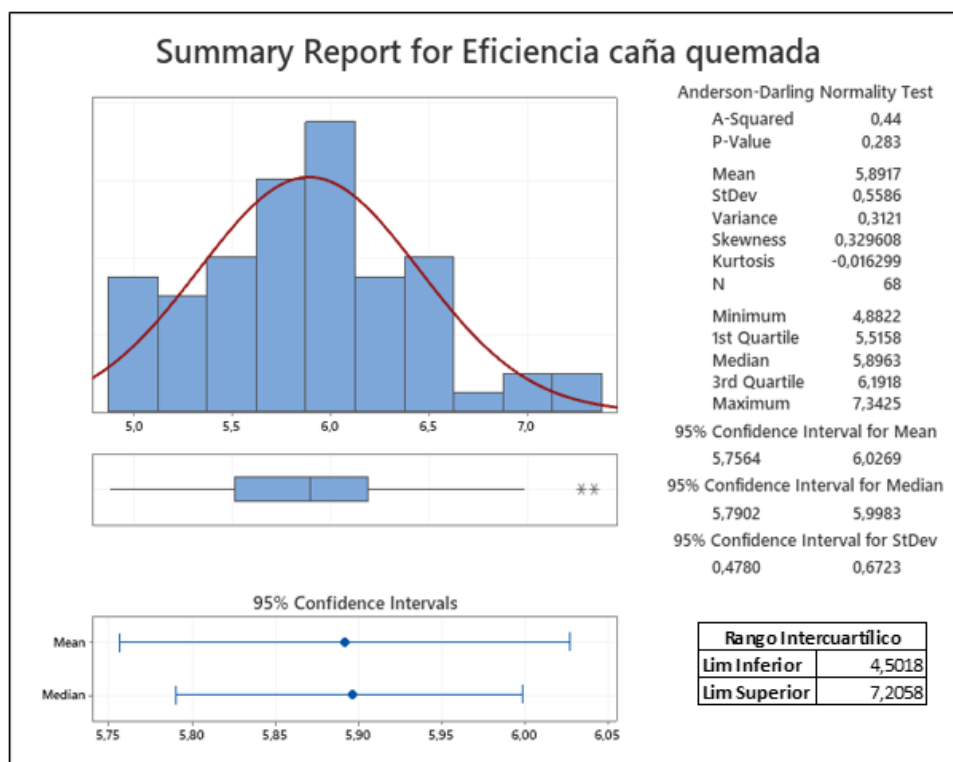


Fig. 20. Resumen estadístico para le eficiencia de corte de caña quemada. Modificado de [14].

Finalmente, por medio de la prueba de hipótesis para comparación de medias, la eficiencia es mayor cuando se quema la caña previamente como se puede observar en la Tabla V y el diagrama de cajas en la Fig.21.

TABLA V  
PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA DIFERENCIA DE MEDIAS DE LA EFICIENCIA DE CORTE MANUAL

<b>Planteamiento prueba de hipótesis:</b>	<b>H<sub>0</sub>:</b> $\mu_1 - \mu_2 = 0$ vs <b>H<sub>a</sub>:</b> $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$  Donde: $\mu_1$ = Media Eficiencia caña en verde y $\mu_2$ = Media Eficiencia caña quemada
<b>Decisión:</b>	Rechazo H <sub>0</sub> si p-valor es <0.05
<b>Conclusión:</b>	Como p-valor = 0,000 < 0,05 Rechazo H <sub>0</sub> , es decir que con un nivel de confianza del 95% existen diferencias significativas entre la eficiencia de corte para caña quemada y en verde. La estimación de la diferencia con un 95% de confianza es (-2,9809; -2,5983), lo que significa que $\mu_2 > \mu_1$ .

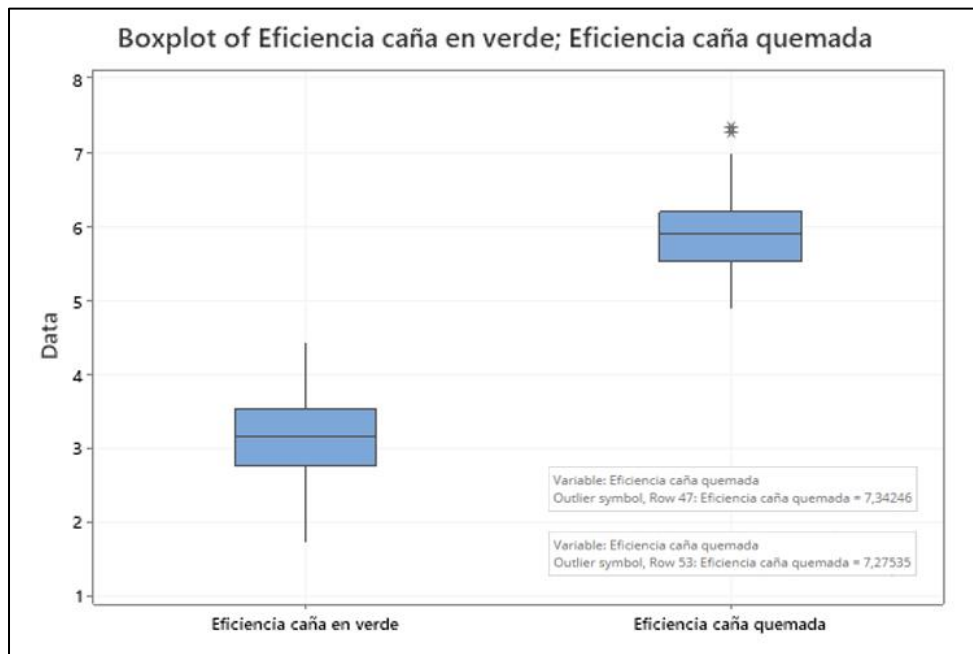


Fig. 21. Diagrama de caja para la eficiencia de corte de caña en verde y caña quemada. Modificado de [14].

6. **Grado dolor o incomodidad:** El análisis de esta variable se realizó para todas las partes del cuerpo humano, por esta razón fue necesario realizar un diagrama de Pareto como se muestra en la Fig. 22, para priorizar aquellas partes donde se registraron mayor cantidad de datos de dolor.

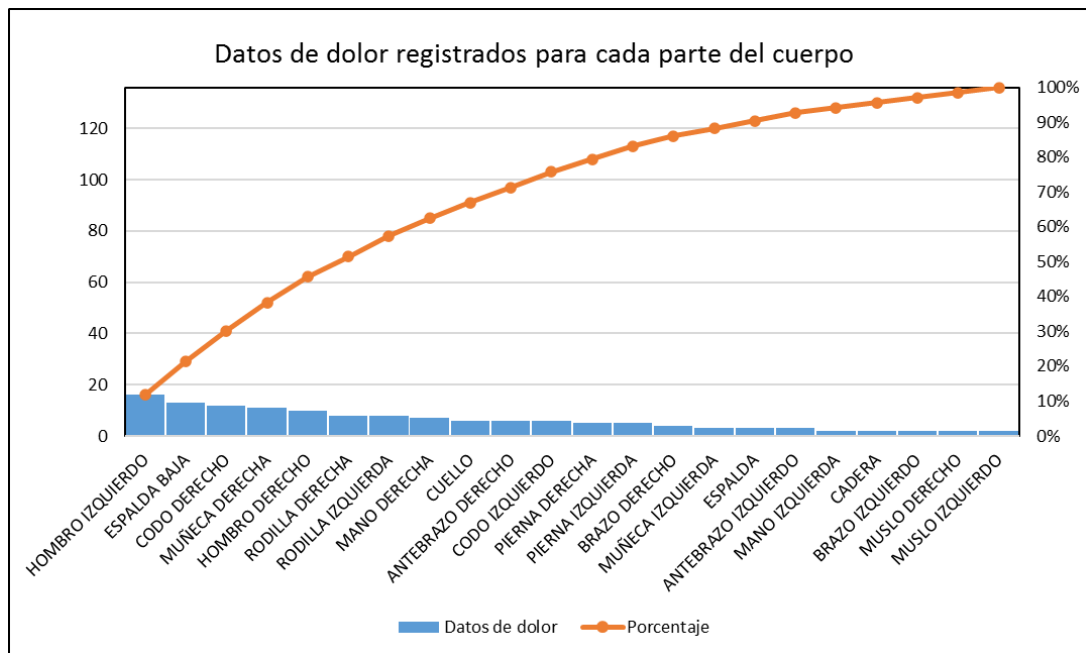


Fig. 22. Diagrama de Pareto grado de dolor o incomodidad.

Las cinco partes en donde se registraron más datos de dolor fueron respectivamente: Hombro izquierdo, espalda baja, codo derecho, muñeca y hombro derecho representando un 46% de los datos totales. Sin embargo, el proyecto está enfocado a las lesiones relacionadas con la zona lumbar, donde la espalda baja tiene relación. En la Fig. 23 se muestran los resultados para esta parte del cuerpo.

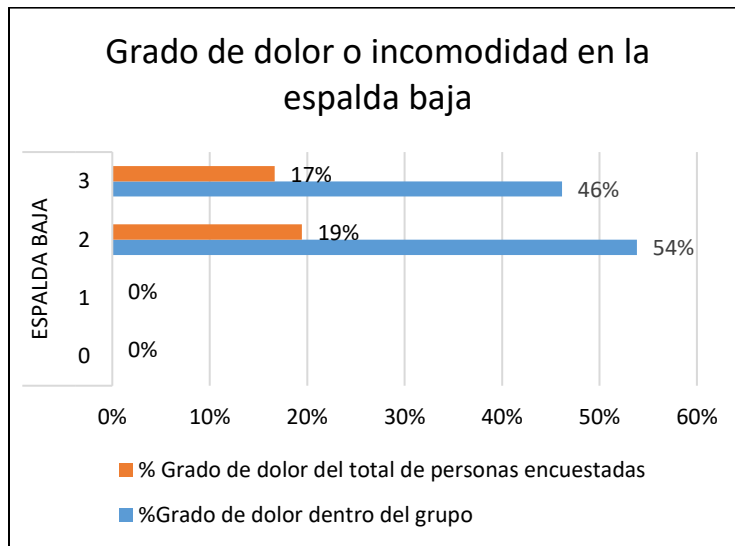


Fig. 23. Grado de dolor en la espalda baja.

- Diagrama SIPOC:** Dentro del diagrama SIPOC se analizaron los tres estados asociados con el corte de caña, los cuales son precosecha, cosecha y el transporte de la caña lista para ser tratada. En primer lugar, se analizó la preparación de las suertes y de los corteros antes de ser llevados a los tajos seleccionados. Concretamente, el gerente de cosecha estima la producción necesaria mensual la cual se discriminará por semanas y así seleccionar las suertes que van a ser cortadas, en cada una de las suertes un jefe de frente se encarga de medir los niveles de glucosa de la caña para verificar que cada una de ellas se encuentre madura y lista para cortar. Posteriormente, el jefe de frente ordena la quema de las suertes seleccionadas para el corte del día siguiente el cual debe hacerse por ley en la noche, dejando la caña lista para el corte en el caso de ser quemada. Por otro lado, en la precosecha el brechero se encarga de separar las suertes en tajos, en donde se asignará cada cortero. En la cosecha, un monitor se encarga de controlar y verificar el corte de cada uno de los corteros y de su respectiva asistencia a la cosecha. Asimismo, el apuntador se encarga de llevar la cuenta de las cañas *enchorradas* de cada uno de los corteros. Por último, está el proceso de postcosecha en la que por medio de máquinas alzadoras se ubica la caña *enchorrada* de cada cortero en un tráiler el cual tendrá como destino la fábrica donde se trata la caña. Ver Anexo 6.
- Diagrama de flujo:** Presenta los pasos que componen el proceso de corte manual de caña, en este caso, se identificaron posibles puntos de mejora o ventaja competitiva en el alistamiento, donde se deben preparar los elementos de protección personal y la herramienta, aquí se debe afilar el machete. También, en el proceso de corte se puede ver que cuando hay mucha maleza en la zona de corte, primero se debe despejar, lo que se podría tomar como un cuello de botella, ya que el cortero debe realizar doble trabajo para poder efectuar el corte de la caña, sin embargo, es algo inherente al entorno de trabajo.

## Diagrama de Flujo del proceso manual de corte de caña

Realizado por: Equipo Tripulación cañera | Abril 23, 2020

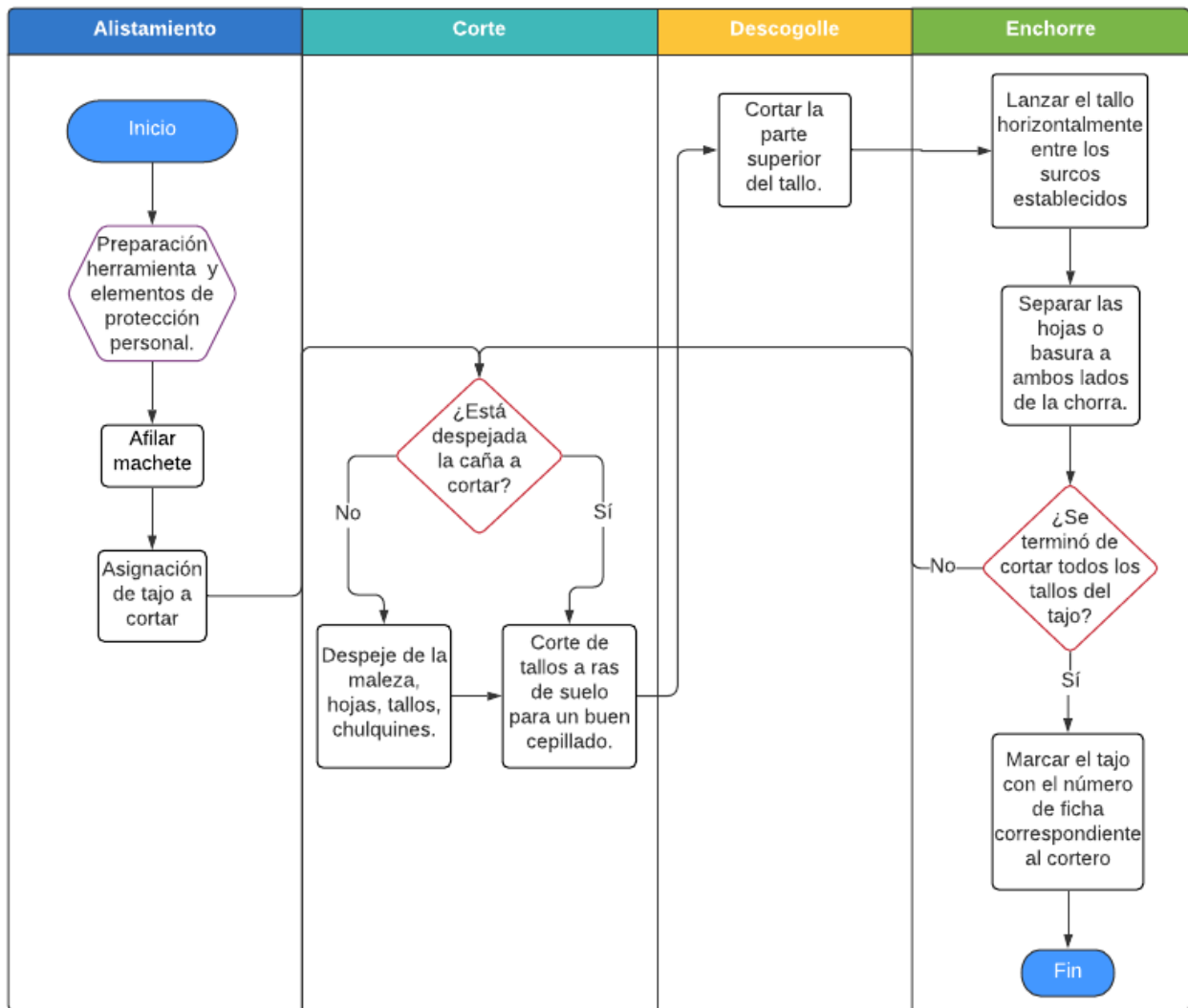


Fig. 24. Diagrama de flujo del proceso manual de corte de caña.

- Diagrama bimanual:** Para realizar un análisis más detallado del proceso, específicamente corte, descogolle y enchorre, se realizó un diagrama bimanual, en el cual se puede observar la descripción de los movimientos realizados por el operario en un ciclo, los tiempos correspondientes a cada actividad y el tiempo total en que se realizan en conjunto, el número de operaciones según el tipo de actividad (operación, transporte, espera o sostener) y el número total de operaciones. Estos datos se obtienen para la mano izquierda y para la mano derecha como se observa en la Fig.25. También, se puede observar al analizar los resultados presentados en el diagrama que para la mano izquierda se obtuvo un tiempo total de operación de 13 segundos y para la mano derecha este fue de 12 segundos, es decir, para un total de 8 operaciones el operario trabaja con ambas manos simultáneamente.

DIAGRAMA BIMANUAL		Hoja N° 1 de 1 Diagrama N° 1				COSECHA DE LA CAÑA					
		SIMBOLOGÍA		IZQUIERDA						DERECHA	
COSECHA DE LA CAÑA		ACTIVIDAD		Oper.	Tie.	Oper.	Tie.	COSECHA: CORTE, DESCOGOLLE Y ENCHORRE			
		●	Operación	5	9	3	3				
→	Transporte	0	0	0	0						
●	Espera	0	0	0	0						
▼	Sostener	3	4	5	9						
Totales		8	13	8	12						

NÚMERO	DESCRIPCIÓN DE MOVIMIENTOS MANO IZQUIERDA	Tiempo (Seg)	MANO IZQUIERDA				MANO DERECHA				Tiempo (Seg)	DESCRIPCIÓN DE MOVIMIENTOS MANO DERECHA	NÚMERO
			●	→	●	▼	●	→	●	▼			
1	Agarrar y sostener la caña	2									1	Cortar caña con machete	1
2	Sostener caña	1				x	x				1	Descogolle (quitar maleza) con machete	2
3	Lanzar caña a la chorra (enchorre)	1	x							x	1	Sostener machete	3
4	Agarrar cogollo de la chorra	3	x							x	3	Sostener machete	4
5	Sostener cogollo de la chorra	1				x	x				1	Cortar cogollo de la chorra	5
6	Lanzar cogollo a la zona de residuos	1	x							x	1	Sostener machete	6
7	Recoger residuos	3	x							x	3	Sostener machete	7
8	Lanzar a la zona de residuos	1	x							x	1	Sostener machete	8
		13									12		

Fig. 25. Diagrama bimanual de un ciclo del proceso de cosecha: corte, descogolle y enchorre.

TABLA VI  
RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

Enfoque KPI's	KPI's	Tipo	Actualidad	Meta
Riesgo laboral	Índice Check List Odra (ICKL).	Caña en verde	ICKL= 42,8, inaceptable alto.	ICKL< 11
		Caña quemada	ICKL= 43,7, inaceptable alto.	ICKL< 11
	% Costo cardiaco relativo (CCR).	Caña en verde	El promedio para %CCR en verde es de 43,5% ± 0,18 Obtuvo una valoración de trabajo "algo pesada". El 36,8% de los corteros sobrepasan un %CCR al 50%	Disminuir: Promedio %CCR corte en caña semi limpia <39% para que la valoración sea Moderada.
		Caña quemada	El promedio para %CCR en quemada es de 47,9% ± 0,14 Obtuvo una valoración de trabajo "algo pesada". El 41,2% de los corteros sobrepasan un %CCR al 50%	Disminuir: Promedio %CCR corte en caña quemada < 39% para que la valoración sea Moderada.
	Puntuación final RULA.	N.A	Puntaje total RULA= 7, nivel de riesgo 4.	Disminuir el puntaje total en al menos 3 puntos, llegar a un nivel de riesgo de 2 o menor.
% Grado de dolor o incomodidad.	Espalda Baja (zona lumbar)	El grado de dolor en la espalda baja para el total de las personas encuestadas fue: Grado 3 (Severo): 17% Grado 2 (Moderado): 19%	Disminuir: Grado 3(Severo) < 17% Grado 2(Moderado) <19%	
Rendimiento	Toneladas promedio de caña cortada por cortero en la jornada laboral (THD).	Caña en verde	Los resultados del análisis de datos reflejan que en promedio un cortero corta 3,10 THD en caña semi limpia.	Mantener o incrementar el rendimiento que se presenta actualmente.
		Caña quemada	Los resultados del análisis de datos reflejan que en promedio un cortero corta 5,89 THD en caña quemada.	Mantener o incrementar el rendimiento que se presenta actualmente.
Entorno y condiciones de trabajo	Satisfacción laboral	N.A	El entorno laboral es en su mayoría satisfactorio, pues este corresponde al 46,2% según los aspectos evaluados. Sin embargo, existe un 26,9% que representa insatisfacción o poca satisfacción, representando inconformidad en los aspectos laborales.	Aumentar el nivel de satisfacción mínimo en un 5%, con el objetivo de que los operarios se sientan conformes en su entorno de trabajo.

## IV. ANALIZAR

### F. Análisis de Causas

Teniendo en cuenta los resultados de los datos obtenidos en la etapa medir y con base en las metas establecidas para cada variable, se realizó un análisis de las posibles causas que contribuyen a la aparición de lesiones musculoesqueléticas en la zona lumbar de los corteros de caña. Es por esto, que se analizaron los distintos factores que intervienen en el proceso de corte, donde principalmente se generan las lesiones.

Para la realización de este análisis, se hizo uso de herramientas que permitieron determinar cuáles son las causas que influyen en el problema actual y se estableció aquellos factores críticos que permitan dar cumplimiento a los requerimientos planteados por los *Stakeholders* mediante la alternativa a proponer. En este sentido, se utilizó el diagrama de causa y efecto y los cinco ¿por qué? para profundizar en el problema y encontrar la causa raíz de este.

#### Factores críticos de control basados en los requisitos del cliente

- **Crítico de Productividad (CDP):** La alternativa planteada debe asegurar que no se vea afectada la productividad, es decir, no debe disminuir el rendimiento de los trabajadores (THD) una vez se implemente la solución. Esta debe mantenerse en 5,8917 THD para caña quemada y en 3,1021 THD para caña en verde en promedio.

**Controladores:** Diseño de la herramienta, facilidad de manejo, peso de la herramienta.

- **Crítico de Costo (CDC):** La alternativa planteada debe ser rentable en relación con el costo-beneficio.

**Controladores:** Material utilizado para elaborar la herramienta, grado de complejidad del diseño, proveedores de material, herramientas empleadas para su elaboración.

- **Crítico de Seguridad (CDS):** La solución planteada no debe ocasionar o generar nuevas lesiones, debe ser segura para el trabajador, de tal manera que se evite la ocurrencia de accidentes o lesiones laborales.

**Controladores:** Diseño de la herramienta, condiciones del material, adaptabilidad, agarre, modo de uso, fuerza requerida para su uso.

- **Crítico de Satisfacción (CDST):** La alternativa de solución debe ser fácil de usar, en caso de ser una nueva herramienta, debe generar comodidad al trabajador en el momento de realizar la labor y si corresponde a modificaciones en el método de trabajo debe ser expuesta detalladamente por medio de capacitaciones.

**Controladores:** Modo de uso, facilidad de manejo, comodidad.

El diagrama de causa y efecto permitió identificar desde distintos focos las posibles causas del problema actual donde un 46% de los corteros diagnosticados presentan lesiones lumbares en el ingenio, como se muestra en la Fig.26. Para esta evaluación se tuvo en cuenta la materia prima, la herramienta, el método actual empleado, los corteros, las medidas y el medio ambiente. Sin embargo, se identificó que los corteros, la herramienta y el método presentan factores de mayor impacto al problema y por ende se analizaron de manera más exhaustiva para la implementación de la mejora.

- **Herramienta de trabajo (Machete):** Se encontró que la herramienta de trabajo es una de las principales causas de flexión del tronco en los corteros debido a que no tiene mayor alcance. Por otra parte, muchas veces los corteros realizan modificaciones al machete, las cuales pueden causar que aumente su peso haciendo que esta situación represente un riesgo para los mismos. Por último, la longitud y el diseño del machete hacen que el método de corte sea limitado a los cambios.
- **Método:** En el análisis del método actual de trabajo, se identificó que existe gran variabilidad en la modalidad de corte debido a que los corteros realizan la labor de manera diferente, no hay estandarización de pausas activas y debido a que el corte debe ser a ras de suelo se realizan posturas inadecuadas y por fuera de lo recomendado, como la flexión y rotación del tronco. Además, por medio del estudio de la repetitividad de la tarea se llegó a la conclusión de que el método

influye en que se realice en un minuto más de 10 ciclos de trabajo en los dos tipos de corte, ya que el trabajador constantemente está realizando los movimientos técnicos de corte, descogolle y enchorre.

- Cortero:** Dentro del análisis del cortero se llegó a diferentes conclusiones, las cuales se deben tener en cuenta en el planteamiento de una alternativa de solución. En primer lugar, se ha observado que la realización de su labor ha sido basada en la experiencia, lo cual ha ocasionado que sigan un método poco higiénico posturalmente, pues somete a partes del cuerpo como la espalda a un nivel de esfuerzo alto debido a la repetitividad del movimiento y las malas posturas que se adaptan en la labor. Específicamente, este empirismo tan marcado en la mayoría de los corteros ha desarrollado obstinación al cambio haciendo que cualquier tipo de corrección en el método de corte sea obviado o en el peor de los casos ignorado por parte del gremio, haciendo de este un factor de cuidado. En segundo lugar, dos variables a considerar son el peso y la estatura del cortero, ya que como se observa en el documento [20] el sobrepeso es una variable la cual va ligada al desgaste muscular de cualquier tipo de cosechador y tienden a tener mayor proporción de lesiones en articulaciones. Por último, la falta de conciencia sobre el riesgo laboral permite que los corteros se muestren cómodos en métodos de corte que realmente los están perjudicando de forma significativa a mediano y largo plazo.

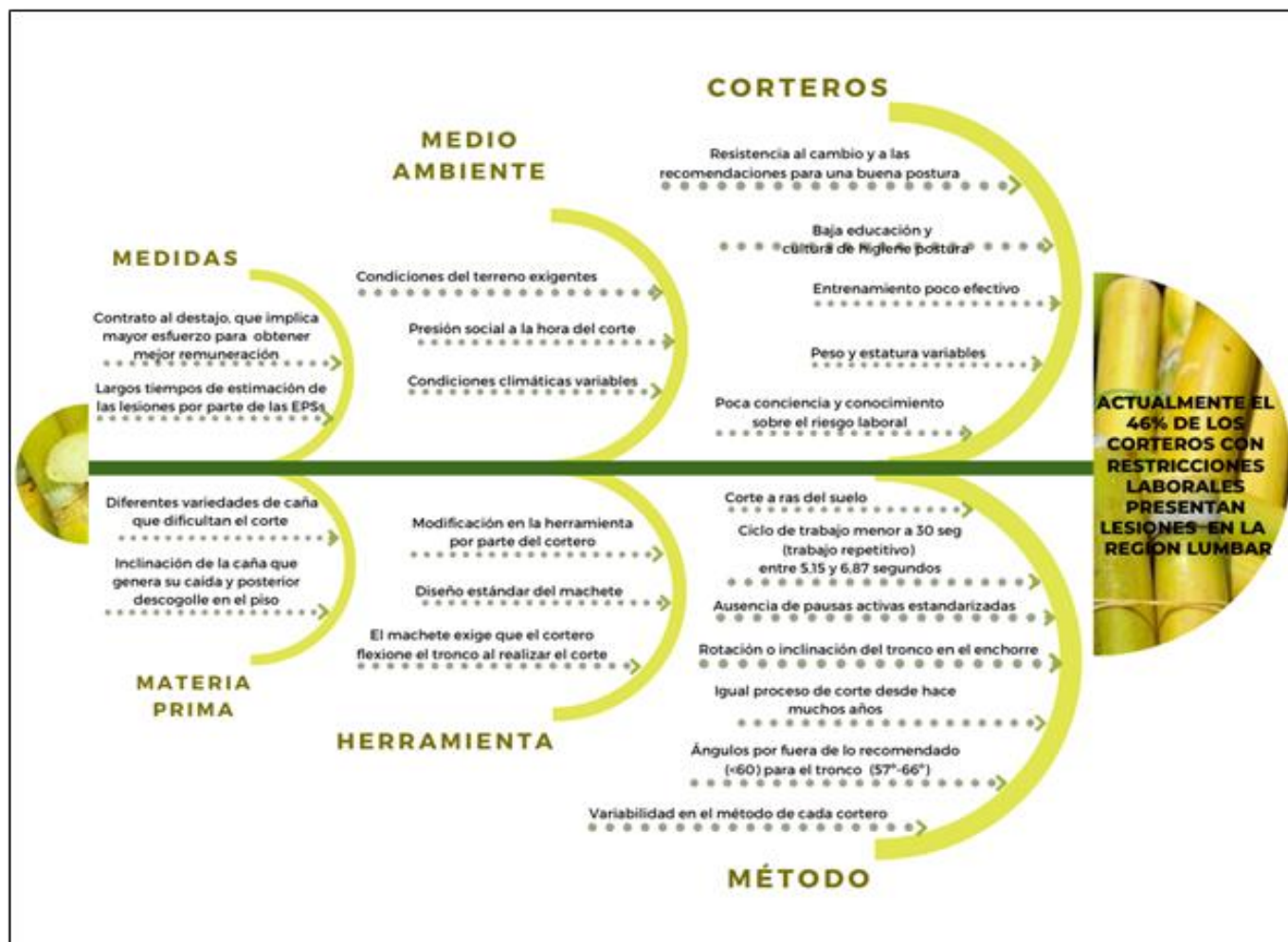


Fig. 26. Diagrama causa efecto.

A partir del análisis realizado en el diagrama de causa y efecto, se realizó la estrategia de los cinco por qué, mediante la cual se pudo evaluar de manera más detallada cada una de las situaciones que ocasionan el problema, evitando suposiciones. Con el fin de profundizar en el análisis de las causas, se realizaron los cinco ¿por qué? para cada una de las líneas descritas anteriormente (herramienta, método y corteros), como se muestra a continuación:

• **Línea de Mano de Obra (Corteros):**

**Actualmente el 46% de los corteros con restricciones laborales presentan lesiones en la región lumbar**

1. **¿Por qué?** Porque los corteros no cumplen con las recomendaciones y no aplican las capacitaciones dadas por la fisioterapeuta y el monitor para una buena técnica de corte.
2. **¿Por qué?** Porque los corteros tienen costumbres y pensamientos arraigados desde hace muchos años con respecto al método de corte.
3. **¿Por qué?** Porque piensan que su método es mejor al propuesto, se sienten más cómodo y no disminuyen su productividad.
4. **¿Por qué?** Porque se resisten a aplicar un nuevo método a su trabajo.
5. **¿Por qué?** Porque no tienen la conciencia necesaria del riesgo laboral que implica realizar movimientos repetitivos y posturas forzadas o inadecuadas.

• **Línea Método de Trabajo:**

**Actualmente el 46% de los corteros con restricciones laborales presentan lesiones en la región lumbar**

1. **¿Por qué?** Porque el método convencional implica realizar movimientos repetitivos y posturas por fuera de lo recomendado (menos de 60° para el tronco).
2. **¿Por qué?** Porque el ciclo de trabajo (corte, descogolle y enchorre) es menor a 30 seg. (5.15 seg. – 6.87 seg.) lo cual significa que es **repetitivo** y el cortero debe inclinarse **constantemente**, específicamente en el corte, ya que se debe realizar a ras de suelo por exigencia del cultivo.
3. **¿Por qué?** Porque los corteros no tienen un tiempo de pausa especificado y cada uno maneja su ritmo y método de trabajo independiente.
4. **¿Por qué?** Porque al realizar la labor no se exige un método estandarizado que considere las posturas adecuadas y se realicen pausas activas simultaneas para todos los corteros.
5. **¿Por qué?** Porque la forma de pago (por toneladas cortadas) y el trabajar independientemente conlleva a que los corteros se vean obligados a realizar el corte de manera más “**efectiva**” para ellos, es decir, cortando caña lo más rápido posible, de forma repetitiva y sin un descanso adecuado.

Finalmente, desde un enfoque holístico para solucionar el problema de una forma más completa se deben realizar diferentes mejoras. En este caso, debido al alcance del proyecto se tuvo un enfoque principal en la solución de la causa raíz del problema: la herramienta que se usa actualmente impulsa a que el cortero realice constantemente flexiones de columna. Esta es considerada como causa principal, pues es la de mayor incidencia en la generación de lesiones lumbares, esto se da debido a que la herramienta exige que el cortero realice posturas forzadas y sin importar que por medio de capacitaciones se resalte la importancia de mantener la higiene postural, cuidando los movimientos efectuados al realizar la labor, el cortero se resiste al cambio y a la adopción de métodos ergonómicos en el campo, pues consideran que la forma en que realizan la tarea es la adecuada por sus largos años de experiencia. En este sentido, se deben realizar modificaciones en la herramienta de trabajo actual o diseñar una nueva propuesta, que abarque a gran escala la importancia del cuidado de la higiene postural del trabajador.

*G. Revisión de literatura*

Con base en la literatura, se realizó la exploración de distintas alternativas de solución o métodos ergonómicos que han sido implementados en distintas áreas. Asimismo, se evaluaron recomendaciones para la implementación de capacitaciones y planes que contribuyan a la mejora de la higiene postural y permitan la disminución de las lesiones lumbares presentadas actualmente. Además, se exponen métodos de ideación que han sido implementados con el fin de crear o rediseñar una herramienta capaz de disminuir las lesiones musculoesqueléticas anteriormente definidas. En el anexo 8, se puede encontrar un resumen de la revisión de literatura realizada por el equipo.

En primer lugar, se exponen las alternativas de solución que se han desarrollado para la industria agrícola, enfocadas principalmente a reducir los desórdenes musculoesqueléticos. En este sentido, el autor Fadi A. Fathallah expone que el futuro de la agricultura incluye un mayor uso de la mecanización y la automatización, y con ello, una reducción en la demanda de prácticas intensivas en la mano de obra [21]. Sin embargo, hoy en día aún existen muchas labores agrícolas donde los trabajadores se encuentran expuestos a factores de riesgo que se relacionan con la aparición de los trastornos musculoesqueléticos (TME). Históricamente, los agricultores de todo el mundo han implementado soluciones "ergonómicas" para mejorar la productividad y aumentar la comodidad. Un buen ejemplo incluye la introducción de trilladoras para reemplazar la trilla manual de arroz con cáscara, trigo y otros granos en granjas en India, China, Sri Lanka, Tailandia, Filipinas y otros países del sudeste asiático y África [21].

Las intervenciones para controlar y prevenir los TME en la agricultura son los controles administrativos y de ingeniería. Los primeros se basan en políticas, procedimientos y prácticas en el lugar de trabajo para cambiar la exposición de los trabajadores a

los factores de riesgo. Los ejemplos van desde reducir o eliminar la estructura salarial a destajo hasta la rotación laboral, la capacitación de los trabajadores para identificar posibles factores de riesgo de trastornos musculoesqueléticos y el uso de descansos programados. Por otro lado, los controles de ingeniería para la agricultura intensiva en mano de obra incluyen tres clases de intervenciones: 1) Enfoques para alterar la interfaz del espacio de trabajo-trabajador; 2) Protección mecánica del trabajador o ayudas al trabajador; y 3) Operaciones total o parcialmente mecanizadas. Se ha demostrado que varios ejemplos de cambiar la interfaz entre el trabajador y su espacio de trabajo son prometedores para reducir el riesgo de TME entre los trabajadores agrícolas. Este enfoque generalmente se logra al proporcionar herramientas alternativas o alterar el espacio de trabajo para reducir los riesgos de posturas incómodas [21].

Un ejemplo de control de ingeniería se encontró en un proyecto donde se realizó intervenciones ergonómicas para reducir la exposición de factores de riesgo en la espalda y hombro durante el proceso de pesaje de terneros. El objetivo fue desarrollar y evaluar los dispositivos diseñados para mejorar la postura corporal del levantador y reducir la carga articular, estos fueron el "accesorio de manija" y el "brazo de palanca" como se puede observar en la Fig.27. [22]. Este proyecto es interesante, ya que demuestra que, para mejorar las posturas de una labor, se puede alterar no solo la herramienta sino también el método en que se realiza.



Fig. 27. Trabajador agrícola que utiliza el sistema de palanca-brazo [22].

Por otra parte, en Colombia, específicamente en Santander la cosecha del cultivo de mora se dificulta ya que presenta espinas que aumentan el riesgo de lesiones cutáneas o subcutáneas. Además, se generan lesiones musculoesqueléticas debido al transporte de las frutas cosechadas durante esta actividad que conlleva a dolores de espalda en los trabajadores. Se diseñó un nuevo dispositivo ergonómico para cosechar la mora, a través de una comparación directa con el método tradicional de cosecha, que ayudó a reducir las cargas en la parte baja de la espalda y evitar cortes cutáneos. Este nuevo sistema denominado "SeCura" está compuesto por un subsistema de stock intermedio que distribuye la carga en ambas caderas usando dos depósitos diferentes, dividiendo así la carga total en ambas piernas. El sistema también presenta dos guantes hechos de materiales poliméricos, como se puede observar en la Fig.28. [23]



Fig. 28. Método tradicional de cosecha de mora (lado izquierdo) y sistema SeCura (lado derecho) [23].

Ignacio Paunero, expone en su libro “Higiene, seguridad y ergonomía en cultivos intensivos” que los “cabos” de las herramientas utilizadas en labores de agricultura deben estar adecuados correctamente a la altura del trabajador, pues, de esta manera se evitan flexiones mayores y se disminuye el riesgo de que aparezcan lesiones en la columna lumbar. Además, propone que en los trabajos donde se realicen actividades repetitivas que requieran de gran esfuerzo, se deben realizar pausas entre 5 y 10 min cada hora, con el fin de realizar una relajación y estiramiento de los músculos utilizados en esa labor. Con base en las afirmaciones expuestas anteriormente, se pueden establecer recomendaciones que complementen la alternativa que se plantea y de esta manera disminuir la exposición al riesgo de lesión [24].

Así mismo, se han desarrollado muchas herramientas para reducir la cantidad de flexión requerida por el trabajador agrícola. “Por ejemplo, los portadores de mango extendido para plantas en macetas en viveros reducen sustancialmente la inclinación o la sentadilla al manipular estas macetas. En el desmalezado, las herramientas motorizadas son prometedoras para minimizar la necesidad de doblar y torcer el tronco (Ramahi y Fathallah, 2006), y una azada rediseñada en Nigeria (que altera su longitud y ángulo para adaptarse a las características antropométricas de la población objetivo) tiene el potencial de reducir el riesgo postural y las demandas de energía recurrentes (Jafry y O'Neill, 2000)” [21].

Por otro lado, en el sector de la salud, específicamente en el área quirúrgica, se realizaron modificaciones en el mango de una pinza laparoscópica, ya que el diseño del mango de la herramienta actual creaba molestias y dolores postraumáticos en los músculos y articulaciones generados por la posición y el esfuerzo realizado sobre el mango. Por esta razón, se ejecutaron varios ensayos utilizando un mismo cirujano para evaluar en varias ocasiones el diseño con las modificaciones propuestas, empleando el método de ensayo y error al realizar la misma actividad repetidas veces. Además, se emplearon análisis de señales electromiográficas y una herramienta de simulación para evaluar en tiempo real los resultados y con base en criterios establecidos previamente se eligió qué diseño se adecuaba a estas características, como se muestra en la Fig.29 [25].



Fig. 29. Ensayos realizados para la evaluación y determinación del diseño del mango adecuado [25].

La anterior investigación puede servir como método guía para la selección de una propuesta de diseño o rediseño en la herramienta, de tal manera que se logren prevenir las lesiones lumbares, pues, por medio de herramientas tecnológicas y simulaciones realizadas con los corteros se puede encontrar una alternativa óptima que vaya de acuerdo con los requerimientos planteados inicialmente en el proyecto.

En cuanto al diseño de herramientas se puede hacer uso del método TRIZ como lo expone S. Husna y H. Sowardi donde se realizó un diseño de la herramienta para mejorar la técnica de cultivo de eucalipto, con el objetivo de obtener una mayor calidad en el aceite de este [26]. Debido a que la herramienta actual para la cosecha era poco efectiva y menos segura, se somete a un proceso de rediseño ergonómico por medio del método TRIZ. El cual permitió diseñar una nueva herramienta basada en contradicciones que permitan mejorar la herramienta actual. Así mismo, los autores usan el método de “Fuzzy Linguistic” o control difuso para especificar y nombrar los atributos del diseño, buscando claridad y comprensión de características específicas. Por ejemplo, utilizaron el método para 4 especificaciones que son agudeza, grosor, durabilidad y confortabilidad. En efecto, estos dos métodos tanto de diseño como de interpretación que son TRIZ y “Fuzzy linguistic” respectivamente pueden ser una gran herramienta. Aunque en este caso, los autores del documento están

buscando mejorar la calidad, el equipo de trabajo del presente proyecto podría usar estas herramientas para enfocarlo hacia la comodidad e higiene postural en el corte manual de caña. Por último, se puede ver en la Fig.30. el resultado del diseño de la herramienta en 3D mediante el software “SolidWorks”.

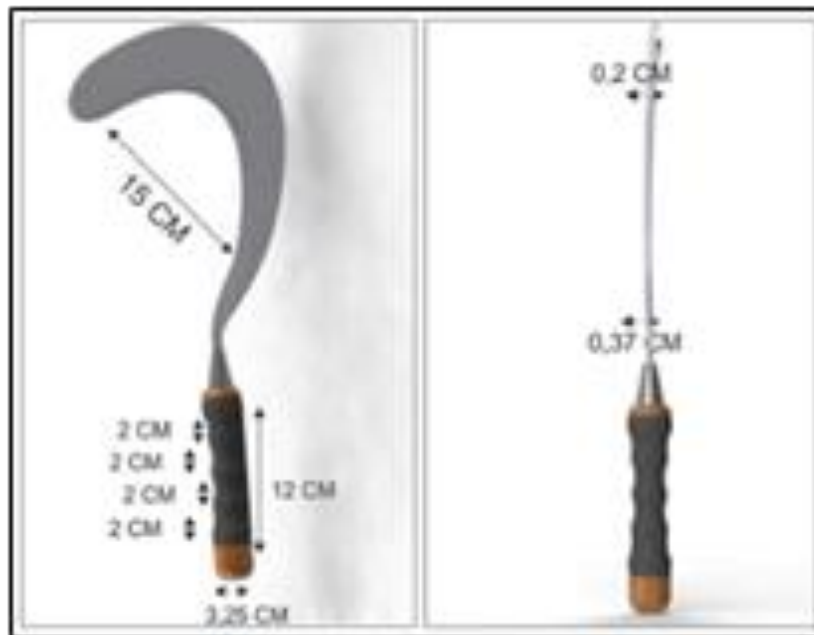


Fig. 30. Diseño de la herramienta mejorada en SolidWorks [26].

Desde otra perspectiva, en un proyecto se investigó los efectos del soporte lumbar en la comodidad de los asientos de automóviles y a través de métodos de modelado y simulación se pudo realizar un diseño de optimización de asientos de vehículos [27]. Por medio del software POSER que tiene la base de datos del cuerpo humano basada en la anatomía y la antropometría humanas, se validó el modelo del cuerpo humano y analizaron los efectos de diferentes parámetros de soporte lumbar sobre la distribución del estrés de los discos intervertebrales lumbares y la interacción de la fuerza entre el cuerpo humano y el asiento.

La problemática actual también se ha abordado desde el uso de implementos de trabajo como lo son los dispositivos de transferencia de carga o peso. “Los tres dispositivos disponibles son HappyBack (ErgoAg, Aptos, CA), Bending Non-Demand Return (BNDR) (Limbic Systems Inc., Ventura, CA) y Bendezy (Bendezy LiteTop, Mount Barker, Australia Occidental). Barrett y Fathallah realizaron una evaluación preliminar de estos dispositivos y descubrieron que reducen la actividad muscular en la espalda; sin embargo, la fatiga muscular de las piernas puede aumentar y los usuarios se quejaron de problemas de comodidad (Barrett y Fathallah, 2001)” [28]. Un estudio realizado con un dispositivo BNDR demostró que puede ser beneficioso para los trabajadores que utilizan la postura encorvada en sus tareas diarias, sin embargo, se necesitan estudios de campo de seguimiento para confirmar los beneficios potenciales a largo plazo de dicho enfoque de intervención para reducir el riesgo y la prevalencia del dolor lumbar entre los trabajadores que adoptan posturas encorvadas [28].

Finalmente, al relacionar los documentos consultados con la problemática en estudio se identifica que para disminuir los factores de riesgo que causan las lesiones de columna en los corteros de caña, se debe buscar principalmente realizar una mejora en la herramienta, mediante métodos de diseño o ideación como TRIZ para llegar a una propuesta a partir de contradicciones. También se puede realizar un enfoque centrado en el usuario que permita generar varios prototipos para obtener retroalimentación de los corteros, donde se puede usar software de simulación o modelado como SolidWorks o Poser. Por otro lado, en el desarrollo de herramientas para disminuir la flexión del tronco en la agricultura se destaca aquellas que permiten adaptar la longitud del mango y adaptarse a las características antropométricas de los trabajadores, también el uso de herramientas motorizadas que permitan disminuir el esfuerzo.

#### H. Exploración de ideas y selección de alternativa

Para iniciar, se consideró la revisión previa de literatura y la búsqueda de herramientas de corte aplicadas en otros países e ingenios para que por medio de la técnica de ideación “El método Walt Disney” propuesta por Robert B. Dilts [29] y el uso de

tormenta de ideas, debates grupales y tableros de discusión se realizó las propuestas de alternativas de solución. En primera instancia, el método recomienda hacer un listado con todo tipo de ideas creativas como máquinas, herramientas o dispositivos que surjan de la imaginación para resolver el problema, sin colocar límites de ningún tipo ni criticar ningún aspecto de las ideas, como se observa en el Anexo 9. De esta parte, surgieron ideas como cortar la caña con sierras eléctricas en manos y pies o colocarle un dispositivo tipo machete en el zapato del cortero para cortar la caña, guadaña con dos cuchillas, desplazamiento de un reposa pies, entre otras que destacaron por su creatividad, pero se descartaron por no ser factibles.

El siguiente paso del método es la etapa realista, donde se evalúan las ideas enfocadas a la viabilidad de poder solucionar el problema, teniendo en cuenta el tiempo de implementación o si la alternativa es objetiva y aplicable al proyecto. Por ello, se propusieron ideas como el corte con guadaña, maquinaria utilizada en otros países, soportes para la espalda, entre otros. Con base en estas alternativas, se realizó un listado, el cual se organizó en los grupos discriminados a continuación:

#### **Máquina:**

- Cortadora de caña entera motorizada.
- Semi-mecánica con ruedas que corte la caña con cuchillas y un soporte para el descogolle.
- Corte con guadaña de espalda con corte inicial de cogollo y luego de la caña.

#### **Herramienta:**

- Machete que se adapte a las dimensiones del cortero y que sea más largo.
- Herramienta con funcionamiento neumático que se tenga que accionar con filo tipo machete.
- Estudio de identificación de condiciones y diseño ergonómico de diferentes machetes del mercado.

#### **Implementos:**

- Corrector de postura.
- Dispositivo de transferencia de carga que "limite" al cortero de flexionar demasiado el tronco.
- Dispositivo eléctrico que mida cuando el trabajador realice una mala posición y lo alerte.

#### **Capacitaciones:**

- Capacitaciones con realidad virtual o aumentada.
- Enseñar a los corteros mejores posiciones donde flexionen las rodillas, en vez de la espalda.

#### **Pausas activas:**

- Estandarización de la labor con tiempos de descanso, estiramiento y pausas.

Por último, se realizó la fase que corresponde a la etapa crítica, donde se buscan las debilidades de las ideas, escogiendo las mejores alternativas para solucionar el problema de una manera práctica y factible. En esta fase, se analizaron cada una de las alternativas, revisando sus características, atributos favorables y debilidades. A continuación, se presenta la Fig. 31. donde se exponen las cinco alternativas más factibles y seguido de la misma, la descripción de cada una de estas.

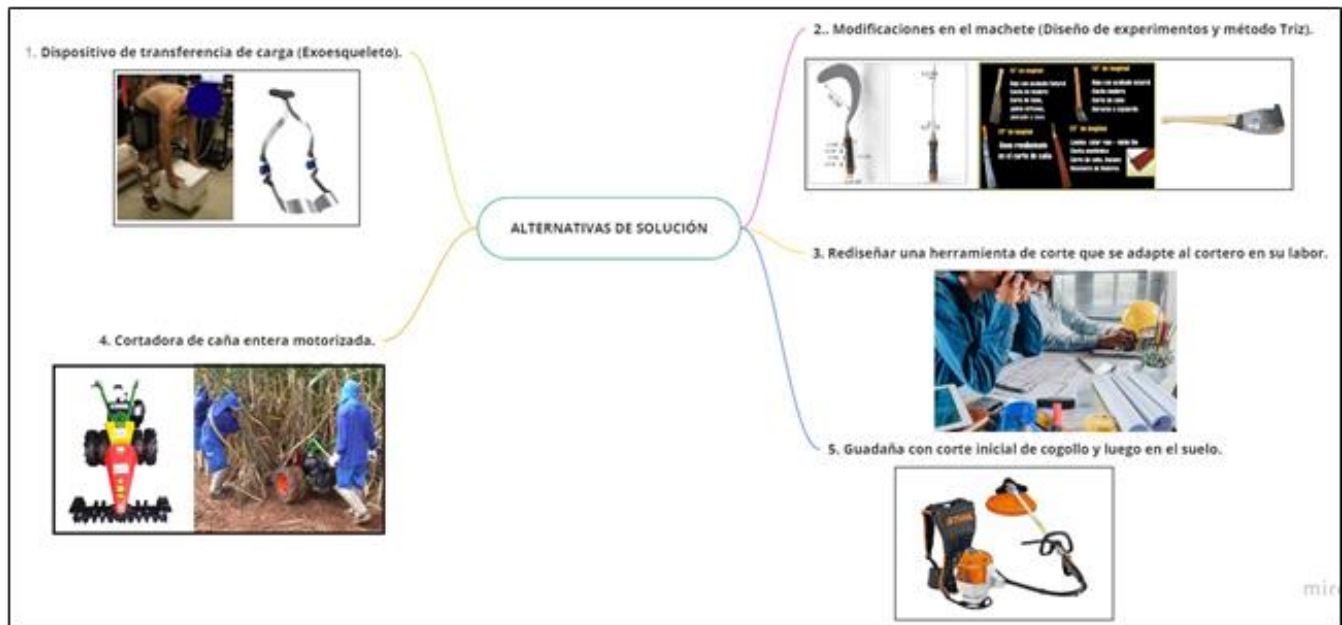


Fig. 31. Elección de las mejores ideas de solución.

**1. Dispositivo de transferencia de carga (Exoesqueleto):** Mecanismo que, mediante un tipo de arnés ubicado en las piernas y espalda, impide el movimiento abrupto del tronco al agacharse, distribuye el peso a las piernas y evita que el cortero supere el ángulo de confort de inclinación para la espalda.

**2. Modificaciones en el machete:** Transformar el machete utilizando conceptos ergonómicos, aplicando diseño de experimentos, comparando las características de cada machete y su incidencia en generar movimientos fuera de lo recomendado, así como características directas como el peso, largo, forma y aerodinámica.

**3. Rediseñar una herramienta de corte que se adapte al cortero en su labor:** Proponer un diseño de herramienta de corte que se enfoque en adaptarse a las medidas antropométricas de los corteros, de fácil implementación, aplicabilidad de esfuerzo igual o menor al actual y que tenga como finalidad lograr una mejor higiene postural.

**4. Cortadora de caña entera motorizada:** Como se puede ver en la Fig. 31, se ha implementado una máquina con motor de funcionamiento a diésel o gasolina, donde el cortero empuje o esté sentado en la parte superior, de tal manera que pueda direccionar la máquina, mientras las cuchillas de la parte inferior cortan la caña y otro operario las toma para su posterior corte de cogollo.

**5. Corte con guadaña de espalda:** Implementar el uso de las guadañas mecánicas para el corte, inicialmente se propone el corte del cogollo de la caña con la podadora de altura STIHL HT 103 con vástago telescópico. Otro tipo de guadaña empleada en el corte de la caña es la guadaña de mochila desmontable STIHL FR 450, la cual es de fácil manejo gracias a la empuñadura multifuncional y cuenta con un arnés de cadera integrado para mejor agarre. Ambas poseen sistemas antivibración, teniendo como fin su rápido uso y protección del cortero.

Posteriormente al análisis de las propuestas se escogió la mejor alternativa usando análisis jerárquico (AHP) [29], ubicado en el Anexo 10. Para ello se tuvo en cuenta cinco criterios:

- **Costo:** Es importante tener en cuenta el costo de la propuesta a implementar y el beneficio que esta podría generar.
- **Facilidad de implementación:** Se debe considerar la viabilidad en cuanto a tiempo y acceso a los recursos que se requieran, debido a que se cuenta con un tiempo límite de aplicabilidad del proyecto.
- **Impacto (en las posturas y a nivel repetitivo):** Se debe priorizar el bienestar del trabajador, buscando que la alternativa a implementar tenga en cuenta las posturas, el nivel de repetitividad y la forma en que la herramienta influye directamente en su labor.

- **Eficiencia del sistema productivo:** Se enfoca en evaluar la forma en que la alternativa puede afectar la productividad de la cosecha, pues el ingenio tiene requerimientos de producción que no pueden verse afectados y no se desea disminuir el rendimiento de los corteros.
- **Comodidad de la persona:** Se debe tener en cuenta el confort que proporcione la alternativa a los trabajadores durante la realización de su labor.

Por otro lado, para aplicar el AHP se realizó inicialmente la matriz de comparación por pares para estimar la prioridad o porcentaje de importancia de cada criterio, para esto se realizó una estimación de costos promedio de cada alternativa, teniendo en cuenta la tabla de preferencia diseñada por el profesor Álvaro Figueroa, docente de la Universidad Javeriana Cali [30].

Como resultado de este ejercicio, se presenta la Fig.32, a través de la cual se analizó la importancia de los criterios comparándolos entre sí.

← Más preferencia que el criterio inicial					Menos preferencia que el criterio inicial →				
1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	
				Impacto	Costo	Facilidad	Comodidad		
					Eficiencia				

Fig. 32. Análisis de preferencia de criterios. Modificada de [30].

Una vez definida la preferencia de criterios, se prosiguió a la evaluación de cada uno de estos para cada alternativa, tal como se muestra en la Fig. 33.

	← Más preferencia que el criterio inicial								Menos preferencia que el criterio inicial →								
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Costo					Alter 2		Alter 3		Alter 5			Alter 4				Alter 1	
Facilidad									Alter 2	Alter 5	Alter 3	Alter 1					
Impacto							Alter 3	Alter 4	Alter 5		Alter 1			Alter 2			
Eficiencia						Alter 4	Alter 5	Alter 3	Alter 2		Alter 1						
Comodidad							Alter 3		Alter 2	Alter 5				Alter 1			

Fig. 33. Análisis de preferencia de alternativas por criterio Modificada de [30].

Finalmente, los resultados obtenidos al aplicar este sistema se pueden observar en la Fig. 34, donde se pudo evidenciar que, basado en los criterios preestablecidos, la alternativa 3; rediseñar una herramienta de corte que se adapte al cortero en su labor, es la más adecuada para trabajar con un 37,12% y en segundo lugar se encuentra la cuarta alternativa, que corresponde a la cortadora de caña entera motorizada, con un 30,37%.

Alternativas	Costo		Facilidad Implementación		Impacto a nivel postural v		Eficiencia del sistema		Comodidad		Gran total
	Valor Alternativas	Total	Valor Alternativas	Total	Valor Alternativas	Total	Valor Alternativas	Total	Valor Alternativas	Total	
Alternativa 1	0,084	0,007	0,110	0,013	0,094	0,035	0,061	0,013	0,049	0,004	7,27%
Alternativa 2	0,628	0,135	0,516	0,063	0,056	0,021	0,131	0,028	0,190	0,014	26,07%
Alternativa 3	0,330	0,071	0,192	0,023	0,533	0,200	0,206	0,044	0,443	0,033	37,12%
Alternativa 4	0,078	0,017	0,110	0,013	0,343	0,129	0,522	0,112	0,443	0,033	30,37%
Alternativa 5	0,144	0,031	0,257	0,031	0,179	0,067	0,264	0,057	0,101	0,007	19,33%

Fig. 34. Resultado final AHP.

## I. Objetivos

### Objetivo General

Diseñar una herramienta ergonómica para el corte manual de caña que permita mejorar la higiene postural del cortero en un ingenio del Valle del Cauca, empleando metodologías de diseño.

### Objetivos Específicos

- Identificar diferentes herramientas de corte para explorar alternativas de diseño, a través de revisión de literatura, investigación de patentes y productos del mercado actual.
- Diseñar como mínimo tres prototipos para disminuir la incertidumbre y riesgo de fallar con el diseño final propuesto.
- Validar la propuesta final de diseño para verificar la mejora de los indicadores de desempeño, a través de simulación o evaluación en el campo.

### J. Plan de trabajo (PdT)

Para el cumplimiento de los objetivos anteriormente establecidos, se plantea detalladamente la ejecución de actividades asociadas al desarrollo y la implementación de propuestas basadas en herramientas de ingeniería industrial que permitan lograr el cumplimiento de estos y satisfacer los requerimientos de las partes interesadas en un tiempo determinado, como se muestra en Tabla VII. En el Anexo 11 se puede encontrar el Project donde se establece el plan de trabajo y se especifica la duración de cada una de las actividades.

TABLA VII  
PLAN DE TRABAJO

Objetivo general					
Diseñar una herramienta ergonómica para el corte manual de caña que permita mejorar la higiene postural del cortero, empleando metodologías de diseño.					
Objetivos específicos	Área IISE	Herramientas de Ingeniería Industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Identificar diferentes herramientas de corte para explorar alternativas de diseño a través de revisión de literatura, investigación de patentes y productos del mercado actual.	Product design and development.	Investigación en ingeniería.	-Investigar herramientas de corte en la agricultura por medio de una revisión de literatura, incluir patentes y productos existentes en el mercado (vigilancia tecnológica).	- Documento con los resultados de la investigación (Herramienta, características, uso y funcionamiento)	- 04 /09 /2020
Diseñar un prototipo final para evaluar su funcionalidad, a través de la metodología Design Thinking.	-Product design and development.  -Ergonomics and Human factors.	-Proceso CDOV (Design for Six Sigma). -Design Thinking. -SolidWorks. - Principios antropométricos en el espacio laboral y diseño de herramienta.	-Determinar las medidas antropométricas de los corteros de caña	-Resultados con el análisis de las medidas antropométricas de los corteros, percentiles antropométricos.	-19 /09/ 2020
			-Prototipar 3 diseños de una herramienta de corte que cumpla con las necesidades de los corteros.	-Diseñar prototipo 1 -Diseñar prototipo 2 -Diseñar prototipo 3	- 28 /09/ 2020 - 15/10/2020 - 22 /10/ 2020
			Evaluar cada prototipo para el corte de caña.	-Resultados encuesta de percepción prototipo 1. - Resultados encuesta de percepción prototipo 2. -Resultados encuesta de percepción prototipo 3.	- 4/10/2020 -19/10/2020 - 28/10/2020

Validar la propuesta final de diseño para verificar la mejora de los indicadores de desempeño, a través de simulación o evaluación en el campo.	Quality and Reliability Engineering.	-Estadística básica. -Prueba de hipótesis. -Análisis de varianza. -Software para análisis de movimientos (Poser, Kinovea).	-Evaluar el prototipo final funcional con los corteros en el campo.	-Diseño final prototipo. -Resultados de los indicadores de desempeño con la propuesta actual.	-13/11/2020
---	--------------------------------------	---	---	--	-------------

## V. MEJORAR

### K. Desarrollo del diseño de la solución

Inicialmente, se realizó una revisión de literatura para identificar las herramientas de corte, posibles patentes enfocados en la agricultura y productos del mercado actual que den solución a la problemática o sirvan como base para el diseño del prototipo. Se evidenció que no existe una solución óptima que cumpla las restricciones que necesita este proyecto, pero si existen algunos bocetos y patentes que seguramente sirven para cortar caña y sustituir al machete convencional.

A continuación, se encuentran tres modelos que se destacaron de la búsqueda. Primero, en la Fig.35 se encontró una máquina con sierras de corte en la parte delantera y ruedas para que el cortero pueda empujar la máquina. Segundo, en la Fig.36 un boceto patentado que consta de un soporte parecido al machete, pero que en un extremo tiene una sierra de corte, que se mueve gracias a un motor eléctrico ubicado en el mango del mecanismo, en donde, al accionarlo y acercarlo a la caña logre su corte. Finalmente, en la Fig.37 una máquina con una sierra de corte impulsada por un motor ubicado encima de esta y en la parte inferior consta de ruedas para su desplazamiento. Se puede encontrar la investigación más detallada en el Anexo 12.

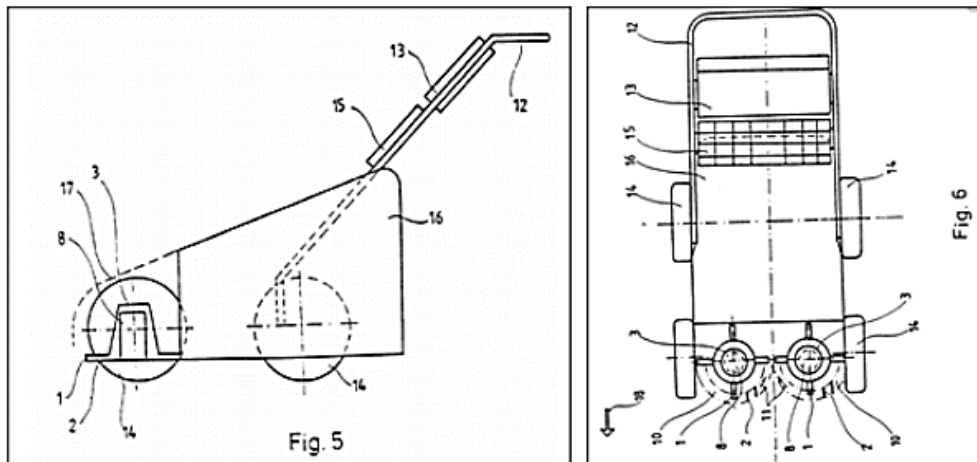


Fig. 355. Mecanismo cortador anticontaminante para cortar tallos o cañas de plantas y/o vegetación similar a la hierba. [31].

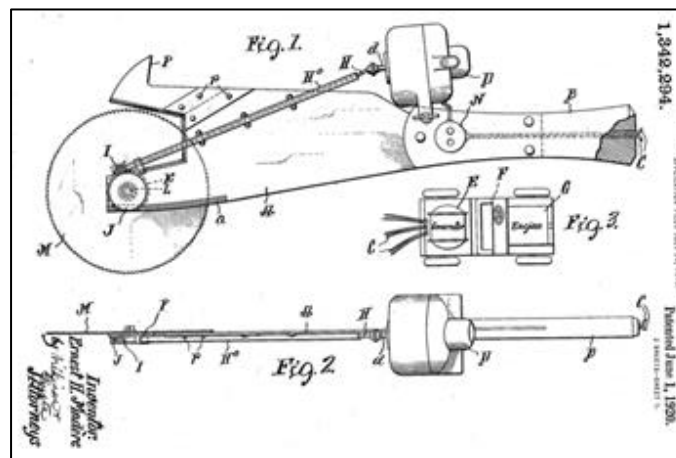


Fig. 366. Hand-controlled rotary cutting implement. [32].

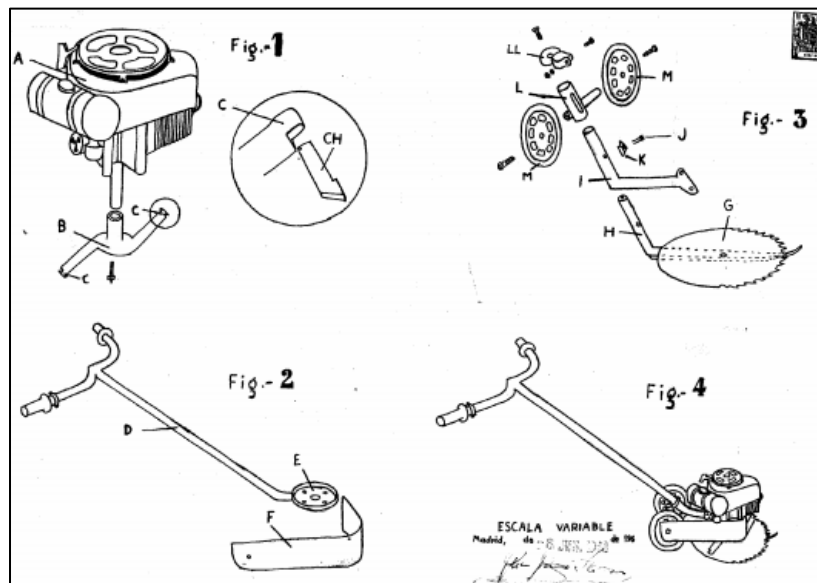


Fig. 377. Hoz mecánica rotativa. [33].

### Medidas antropométricas de la población

La ergonomía como disciplina encargada de las relaciones hombre-objeto-entorno se ha enfocado en la adaptación del trabajo a las capacidades y posibilidades del ser humano. En este sentido, la obtención de datos antropométricos se hace muy importante para incrementar la eficiencia, seguridad y comodidad de las actividades humanas, permitiendo la adecuación óptima de los productos diseñados al hombre, como es el caso del presente proyecto. Al diseñar una nueva herramienta se buscó que todos los corteros puedan usarla, es decir, que exista una operabilidad universal que intente cubrir al menos entre el 90% y 95% de los usuarios.

En este sentido, se hizo necesario la obtención de las medidas antropométricas para el diseño de la nueva herramienta de trabajo. Sin embargo, no fue posible obtener directamente los datos con los corteros de caña debido a la situación presentada por la pandemia del COVID-19 que impidió las visitas al ingenio interesado. Por tal motivo, los datos se obtuvieron de un estudio titulado "Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana 1995" realizado por varios investigadores de la Universidad de Antioquia, recopilado en una investigación sobre las dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile [34].

El estudio anteriormente mencionado, se realizó con la Facultad Nacional de Salud Pública y con el apoyo económico del Instituto de Seguros que hicieron una investigación en la población laboral con el propósito de obtener la información antropométrica necesaria en los procesos de diseño de puestos de trabajo, ropa de labor y equipos de protección individual. Además, se hizo uso de dos antropómetros Tipo Martin, báscula, calibradores de pliegues cutáneos, niveladores de pies y otros elementos necesarios para la correcta medición. Se desarrolló sobre personas laboralmente activas, clínicamente sanas y con un año como mínimo en su oficio, la población muestral fue distribuida a lo largo y ancho del país, específicamente en tres zonas: norte-caribe, zona occidental y la zona centro-oriente.

A partir de esta información, se tomaron las medidas de la población laboral masculina de edad entre 40 y 59 años, debido a que en promedio la edad de la población en estudio es de 46 años y se seleccionaron aquellas medidas que se relacionaban con el diseño de una herramienta para el corte de caña. En la Fig. 38. se pueden ver las medidas determinadas para la posición de pie y los datos en la Tabla VIII. Asimismo, en la Fig. 39. se señalaron las medidas correspondientes a la mano y los datos obtenidos en la Tabla IX.

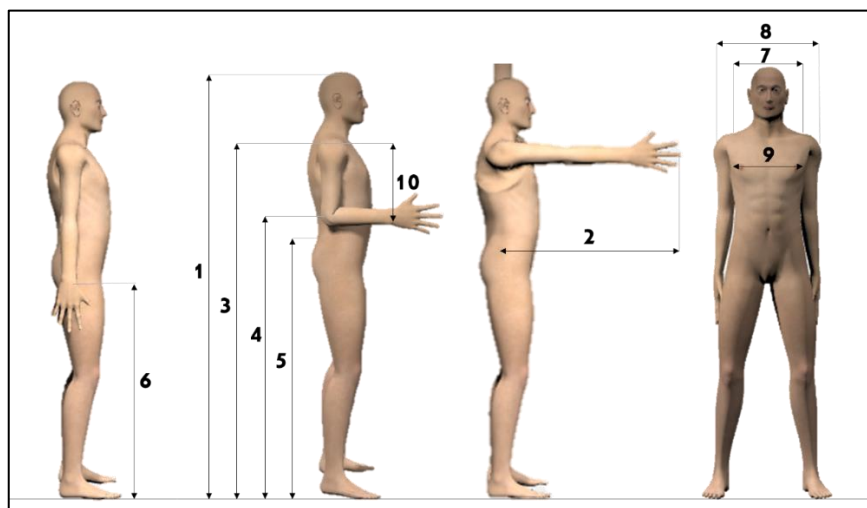


Fig. 388. Medidas antropométricas posición de pie.

TABLA VIII  
MEDIDAS EN POSICIÓN DE PIE POBLACIÓN LABORAL SEXO MASCULINO. Modificado de [34]

Dimensiones (cm)	40-49 años (n=271)					50-59 años (n=110)				
			Percentiles					Percentiles		
	$\mu$	$\sigma$	5	50	95	$\mu$	$\sigma$	5	50	95
1. Estatura	167,5	5,93	157,6	167,5	177,3	165,6	7,08	153,3	165,5	176,1
2. Alcance anterior brazo	71,5	3,21	66,2	71,6	76,7	71,5	3,43	66,4	71,1	76,8
3. Altura acromial	137,2	5,46	128,2	137,3	146,1	135,7	6,18	125,3	136,3	145,0
4. Altura radial	105,7	4,36	98,7	105,9	112,4	104,4	4,73	96,6	105,0	111,7
5. Altura cresta ilíaca media	99,7	4,04	92,4	99,5	107,1	98,7	5,47	89,4	99,1	107,1
6. Altura estiloidea	80,8	3,76	74,0	81,0	86,4	79,6	3,91	73,6	79,8	86,4
7. Anchura biacromial	39,5	2,01	36,3	39,5	43,2	39,0	1,86	35,7	39,1	41,7
8. Anchura bideltoidea	46,4	2,67	42,3	46,6	50,5	45,8	2,48	41,6	45,8	49,7
9. Anchura transversal tórax	29,7	2,57	25,8	29,9	34,5	29,2	2,36	25,6	29,3	33,0
10. Altura hombro brazo en 90° con tórax	35,1	2,45	34,7	35,1	35,3	35	2,44	33,6	35	35,2

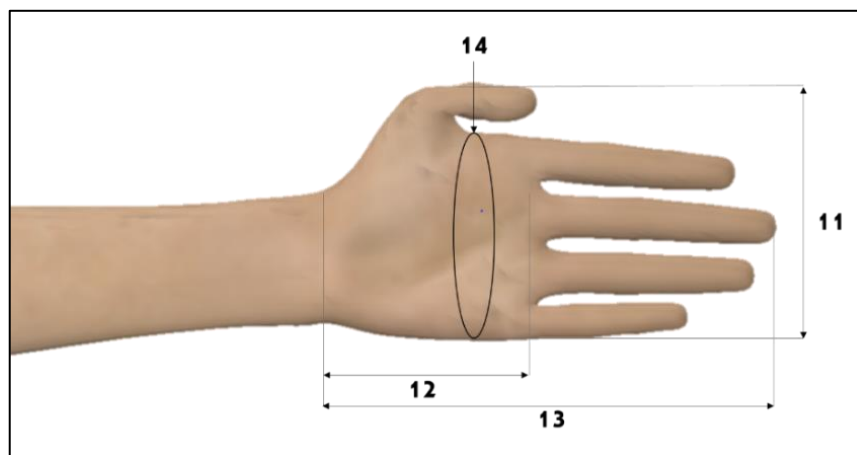


Fig. 399. Medidas antropométricas mano.

TABLA IXX  
MEDIDAS MANO POBLACIÓN LABORAL SEXO MASCULINO. Modificado de [34]

Dimensiones (cm)	40-49 años (n=271)					50-59 años (n=110)				
			Percentiles					Percentiles		
	$\mu$	$\sigma$	5	50	95	$\mu$	$\sigma$	5	50	95
11. Anchura de mano	8,4	0,41	7,8	8,4	9,1	8,5	0,37	7,9	8,6	9,1
12. Largura palma de la mano	10,2	0,57	9,2	10,3	11,2	10,2	0,59	9,2	10,2	11,2
13. Largura de la mano	18,3	0,89	16,8	18,3	19,8	18,2	0,99	16,7	18,2	19,9
14. Perímetro metacarpial	20,5	1,01	18,8	20,5	22,3	20,7	1,02	19,2	20,8	22,3

Estas medidas fueron usadas para el diseño del prototipo final y se deben tener en cuenta para futuras mejoras y recomendaciones en el diseño propuesto.

### Análisis funcional del machete y primera fase de ideación

En relación con la investigación de herramientas y patentes previamente realizada, se prosiguió a usar esta información como base para la siguiente fase. Comenzando con la etapa de ideación, se tomó como punto de partida la herramienta que se usa: el machete; con el fin de identificar las principales funciones que debe cumplir el prototipo a diseñar. Para esto se ejecutó una técnica llamada “Análisis funcional”, es una herramienta que persigue listar, detallar, clasificar y valorar las funciones que realiza cada sistema a fabricar o montar [35]. De esta manera, fue de importancia, saber qué funciones realiza el instrumento para poder convertirlas en restricciones o instrucciones para el diseño de las propuestas. El análisis llevado a cabo se puede ver en la Fig. 40.



Fig. 400. Análisis Funcional Machete.

Se obtuvo como resultado que el machete tiene las funciones de:


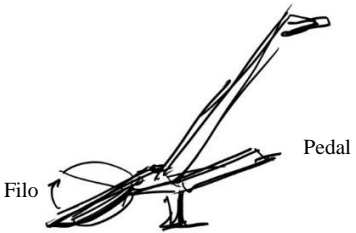
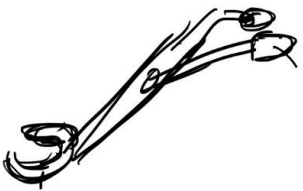
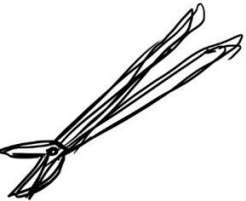
- Cortar.
- Rastrillar.
- Alcanzar o alcanzador.
- Controlar el movimiento.
- Controlar la fuerza.
- Controlar el lugar de corte.

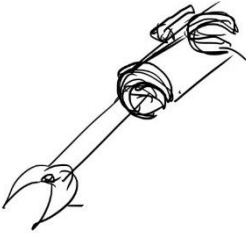

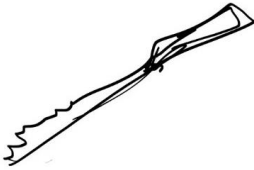

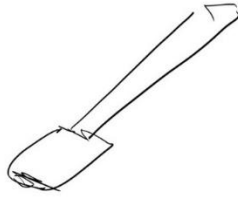
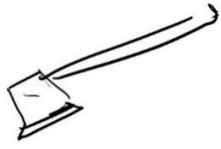
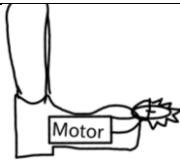
Luego, se inició una búsqueda de las diferentes formas en las que se puede llevar a cabo cada una de las funciones encontradas. En la búsqueda, se analizaron los elementos existentes para estas funciones y cómo por medio de estas se podía solucionar el problema, se puede ver la investigación realizada en el Anexo 13.

Por otra parte, para iniciar el proceso de generación de ideas, se utilizó la técnica del *Design thinking* de la fase de empatizar llamada “Inmersión Cognitiva” la cual tiene como objetivo ponerse en el lugar del usuario, pero no para entender la herramienta actual, sino, para pensar en posibles soluciones desde el punto de vista del cortero teniendo en cuenta las funciones que debe satisfacer. Inicialmente, cada uno de los cuatro integrantes del grupo pensó cinco ideas de un prototipo imaginario con el cual se pudiera cortar caña. Luego, se dibujaron las ideas y por último cada idea fue representada en un video, en los cuales se simula el corte de caña usando cada prototipo imaginario y se describió su funcionamiento. Las representaciones del equipo se pueden ver en el enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=3wBmj3ii6dc> y el de algunos colaboradores en: <https://youtu.be/6vUXLOISEcE>.

A partir de los anteriores análisis, se filtraron 11 posibles herramientas que se podrían emplear para realizar el corte de caña, como se muestra a continuación en la Tabla X.

TABLA X  
PROPUESTAS DE HERRAMIENTAS PARA EL CORTE DE CAÑA

Número	Propuesta	Explicación
1	 <p>Cuchillas</p> <p>Carro con motor</p>	Consiste en una herramienta de corte con motor para accionar las cuchillas ubicadas en la parte inferior, con ruedas para facilitar su desplazamiento.
2	 <p>Filo</p> <p>Pedal</p> <p>Sistema con pedal mecánico</p>	El cortero debe presionar con el pie el pedal, accionando un filo que permitirá realizar el corte de caña.
3	 <p>Guillotina</p>	Sistema de pinza, que en la parte inferior tiene consta de una guillotina con la cual poder insertar la caña en el gancho y al activar el inicio, la guillotina corte la parte inferior de la caña.
4	 <p>Cizalla</p>	Sistema de corte con una cizalla o tijera de jardinería la cual tiene un mango largo para tener un mayor alcance y cortar la caña a ras.

5	 <p style="text-align: center;"><b>Brazo con motor y tijeras</b></p>	<p>Estructura de brazo mecánico que consta de un motor ubicado en el brazo del operario, el cual, al momento de realizar la acción, cierra las tijeras ubicadas en la punta al presionar un botón para efectuar el corte.</p>
6	 <p style="text-align: center;"><b>Machete tipo hoz</b></p>	<p>Consiste en un machete de mango y filo alargado en forma de hoz.</p>
7	 <p style="text-align: center;"><b>Machete eléctrico</b></p>	<p>Machete modificado con un sistema eléctrico, que permite realizar el corte con ayuda de un motor, de igual forma que un cuchillo eléctrico, pues sus láminas se mueven en sentido opuesto de manera rápida y por medio de la vibración se va cortando el material sobre el cual se efectuará el corte.</p>
8	 <p style="text-align: center;"><b>Cuerda con filo</b></p>	<p>Consiste en una cuerda afilada con un sistema de agarre en los extremos, con la cual el cortero rodeará la caña y halará la cuerda hacia él con suficiente fuerza para cortar el tallo.</p>
9	 <p style="text-align: center;"><b>Pala con filo</b></p>	<p>Consiste en una herramienta tipo pala, la cual posee un filo en la parte inferior. Para realizar el corte, el trabajador sostiene el mango con ambas manos y empuja con su pie hacia adelante la herramienta para efectuar el corte.</p>
10	 <p style="text-align: center;"><b>Hacha</b></p>	<p>Herramienta de corte con mango alargado utilizada para la tala de árboles.</p>
11	 <p style="text-align: center;"><b>Sierra en el zapato</b></p>	<p>Herramienta ubicada en el pie, consiste en dispositivo que se coloca en el zapato del cortero, con cuchillas accionadas por un motor para realizar el corte de la caña, es necesario que el trabajador mueva su pie hacia adelante para que se realice el corte.</p>

Seguidamente, se realizó una matriz de decisión donde cada miembro del equipo calificó de 1 a 5 las alternativas, donde 1 es totalmente en desacuerdo y 5 es totalmente de acuerdo. Para esto, se incluyeron cuatro criterios de evaluación y se asignó un porcentaje de importancia para cada uno de la siguiente forma:

- **Simpleza (20%):** Se refiere a la facilidad de construcción de la herramienta, teniendo en cuenta el tiempo para su desarrollo y los costos que estas implica. Se asignó un peso porcentual del 20% porque se considera un factor de menor impacto para el cumplimiento del propósito de la herramienta.
- **Efectividad (40%):** Se refiere a la capacidad que tiene la herramienta propuesta para realizar el corte de caña. Se asignó el porcentaje más alto a este criterio, ya que para el diseño del prototipo se considera altamente importante que este permita al cortero realizar la labor (cortar la caña).
- **Novedad (5%):** Este criterio evalúa qué tan innovadora es la herramienta propuesta. Su peso porcentual es del 5%, porque no se considera un factor tan importante para lograr el objetivo del prototipo.
- **No flexión (35%):** Se refiere a la capacidad que tiene la herramienta de no permitir que el cortero flexione su tronco al realizar el corte de la caña. Se asignó un peso porcentual del 35%, pues es muy importante que la herramienta propuesta disminuya las flexiones que realiza el trabajador y mejore la higiene postural del mismo.

A continuación, se muestran en la Tabla XI los resultados obtenidos después de sumar las calificaciones obtenidas individualmente y los totales correspondientes para cada alternativa. (Ver Anexo 14).

TABLA XI  
CALIFICACIONES DE HERRAMIENTAS PARA EL CORTE DE CAÑA

Alternativas	Simpleza	Efectividad	Novedad	No flexión	Total
	20%	40%	5%	35%	
1	8	17	8	20	15,80
2	13	11	19	20	14,95
3	17	10	19	18	14,65
4	18	14	14	20	16,90
5	7	14	20	18	14,30
6	20	14	5	14	14,75
7	10	17	17	13	14,20
8	18	4	15	6	8,05
9	18	11	13	17	14,60
10	20	14	7	9	13,10
11	4	14	19	20	14,35

### Primer prototipo

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla XI, se seleccionaron las alternativas de mayor puntuación total, las cuales fueron 1, 2, 4 y 6. Posteriormente, se realizaron prototipos de baja resolución para cada una de ellas, diseñados con materiales disponibles en casa como se muestra en la Fig. 41. con el fin de evaluarlos con un cortero y realizar la retroalimentación de los diseños propuestos.

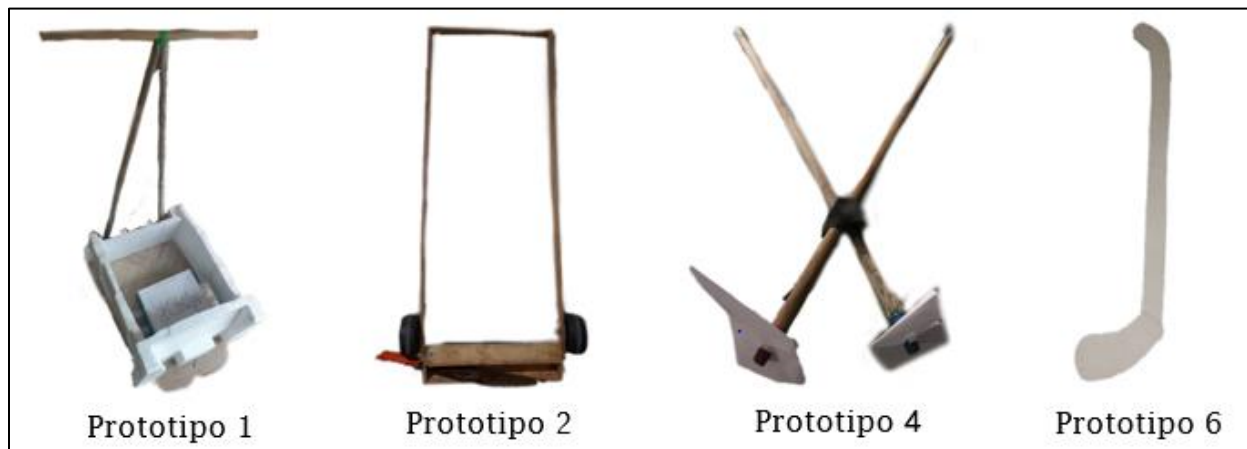


Fig. 411. Prototipos de baja resolución.

Luego de diseñar los prototipos iniciales, se realizó una visita a un cortero para conocer su opinión acerca de los diseños propuestos, es decir, sobre la funcionalidad de estos después de observarlos y conocer cómo se emplearía el corte de caña con cada uno de ellos. El vídeo se puede ver en el siguiente enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=uyZD-YcCd7Q&feature=youtu.be>

El cortero expresó que los prototipos 1 y 2 no servirían para cortar caña, pues son muy complejos para manejar en los terrenos de corte, ya que no son planos y esto dificulta el manejo de la herramienta. Por otra parte, al mostrarle el prototipo 6 el cortero indicó que esta herramienta sería muy incómoda para realizar el corte pues los surcos están muy cerca uno del otro y un mango más largo en la herramienta dificultaría el proceso de corte pues esta se enredaría en la caña. Finalmente, al observar el prototipo 4 el cortero expresó que una herramienta de este tipo no duraría mucho ni podría cortar la caña. Sin embargo, no indicó una falla específica del prototipo como con las otras herramientas propuestas.

Por esta razón, se decidió tomar como base para el diseño del segundo prototipo la alternativa 4, con el objetivo de mejorar el diseño basado en la herramienta de corte con cizalla propuesta inicialmente.

### Segundo prototipo

En primer lugar, se estableció un diseño con una tijera de jardinería sin resorte que se acciona con ambas manos. Teniendo en cuenta que la herramienta debe contar con un mango extendido y un mecanismo para cerrar la tijera a una distancia que permita no tener que flexionar la columna, se materializó un segundo prototipo funcional para probarlo en campo y ver su funcionamiento. Los elementos que se usaron para transformar la herramienta fueron: tubo macizo de madera, cinta adhesiva y cuerda resistente, como se puede ver en la Fig.42.



Fig. 422. Segundo prototipo funcional.

En la prueba dentro del campo se encontró que el diseño presenta diferentes fallas en su funcionalidad, como lo es la efectividad del corte de la tijera ya que no cuenta con un mecanismo que permita que la tijera se vuelva abrir y también el esfuerzo que se le debe ejercer a la cuerda para que la tijera realice la acción como se puede ver en la Fig.43. Asimismo, el vídeo de la prueba se puede ver en el enlace: <https://youtu.be/12YNfRkKiOk>



Fig. 433. Prueba segundo prototipo

Por último, se pidió a un cortero que participará de la prueba del segundo prototipo para escuchar su opinión sobre la herramienta, en cuanto a la facilidad de corte, comodidad y flexión de la zona lumbar. Sus respuestas fueron las siguientes:

- “Es imposible cortar caña con este aparato, aparte de que pesa mucho ni siquiera corta, lo bueno es que no toca agacharse tanto para el corte”.
- “Aunque no toca agacharse tanto es incómodo porque es muy pesado, si fuera más liviano de pronto”.
- “Prefiero tener que agacharme, de aquí a que acabe un tajo con ese aparato ya se oscurece. A menos que cortara de una sola *jalada* la caña, ahí sí”.

En conclusión, el prototipo dos presenta mejoras en la postura del corte, pero su arquitectura y diseño tan básicos hacen que el corte no sea eficaz ni fluido, por lo que el tercer prototipo debe enfocarse en la implementación de un diseño de herramienta que permita que la tijera corte con más facilidad y que cuente con un mecanismo donde las manijas se abran y cierren automáticamente.

### Tercer prototipo

Teniendo en cuenta los resultados del segundo prototipo se procedió a mejorar la herramienta propuesta. El objetivo de este prototipo final es mejorar su eficacia, es decir; que logre disminuir los futuros riesgos de las posturas tomadas por el trabajador y de igual manera cortar caña de azúcar sin un esfuerzo mayor al machete. De esta manera, se empezó a investigar a mayor profundidad ¿cómo se podría aumentar la fuerza de la tijera para lograr cortar caña?, pues se verificó que era posible cortar un tallo de caña de azúcar con este tipo de herramientas y que además se podía extender el largo del mango para evitar flexiones. Se estudiaron tres sistemas para mejorar la potencia de la herramienta (neumático, hidráulico, mecánico) como se puede ver en la Tabla XII, de la cual, se determinó que el sistema más factible a utilizar es el mecánico, debido a que las otras opciones requieren de mayor inversión y en caso de hacerlas por accionamiento manual se necesitaría de mucha fuerza si se realiza neumático, o tendría una baja velocidad si es hidráulico.

*TABLA XII*  
*VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE TRES SISTEMAS PARA GENERAR POTENCIA*

Sistemas de potencia	Opción 1	Opción 2	Opción 3
	Neumático	Hidráulico	Mecánico
Funcionamiento	Se utiliza aire que es recogido en un compresor y luego es forzado a través de las líneas a las diferentes herramientas. El aire comprimido acciona pistones y árboles y los obliga a moverse. El sistema neumático a menudo se utiliza para diferentes tipos de herramientas de mano y también para las máquinas que realizan movimientos repetitivos.	El sistema hidráulico trabaja en base al principio de fluido a presión forzando la acción mecánica. A uno de estos sistemas instalado en una máquina se le llama "circuito hidráulico". Estos circuitos están compuestos de una bomba para comprimir el fluido, líneas para llevarlo, un cilindro donde se bombea el líquido y un pistón movido por el mismo a presión en el cilindro.	A través de mecanismos de transmisión mecánica se puede transformar movimientos y fuerzas desde un elemento motriz o conductor a un elemento conducido. Esto también se puede realizar mediante sistemas de diferencial de potencia, que permiten aplicar poca fuerza en un elemento para generar mucho esfuerzo en otra pieza.
Ventajas	Muy eficiente y mayor facilidad para cortar el tallo de caña de azúcar sin ningún esfuerzo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No es necesario el uso de energía externa</li> <li>-Genera mucha fuerza y sería muy efectivo al cortar caña.</li> <li>- El fluido hidráulico a presión puede soportar enormes cargas y circuitos relativamente pequeños pueden levantar y mover muchas toneladas de material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se pueden transmitir grandes cargas a largas y cortas distancias.</li> <li>-Las transmisiones por cadena tienen una eficiencia muy alta: sin deslizamiento</li> <li>-Tienen un diseño simple, instalación y reparación más fáciles.</li> <li>-Poleas-correa es un sistema sencillo y bajo precio, unidos a un funcionamiento suave y silencioso.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Es posible hacer sistemas neumáticos sin compresor como lo son los infladores de balones, los cuales usan la variación de la densidad del fluido al cambiar la presión de este y se accionan manualmente. Sin embargo, la fuerza que tendría que hacer la persona sería muy alta y se tendría un esfuerzo mayor.</li> <li>-Se necesitaría tener disponibles compresores para cada cortero, y una fuente de energía eléctrica lo cual sería casi imposible en el campo.</li> <li>-Altos costos de inversión para el montaje de todo el sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe accionar el mecanismo repetitivamente para que se genere la fuerza necesaria, lo cual lo hace un sistema muy lento.</li> <li>-Velocidad del corte muy baja</li> <li>-La alta presión exige un buen mantenimiento</li> <li>-Los costos para su fabricación son altos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Al hacer uso de cadenas o piñones, se debe estar frecuentemente lubricando y en mantenimiento.</li> <li>-Las cadenas estándar pueden ser ruidosas y tener vibraciones debido al contacto de metal con metal.</li> <li>-Puede ser pesada la herramienta</li> </ul>

En este sentido, el prototipo final se diseñó de manera que fuera económico, eficaz y cumpliera con la restricción de evitar que el cortero tenga que flexionar la columna. Se utilizó como herramienta de corte una tijera de jardinería, la cual cuenta con un resorte entre las manijas para permitir que las mandíbulas se abran nuevamente después del cierre de la tijera. Esta tijera fue intervenida para adecuarla a la labor del corte de caña, adicionándole un extensor que permita la distancia necesaria para cortar a ras de suelo y evite la flexión de columna del cortero. Por otro lado, se diseñó un sistema de poleas, que permite reducir el esfuerzo obteniendo una ventaja mecánica. Es decir, el esfuerzo que tiene que realizar el cortero se reduciría en proporción al número de poleas que tengan la herramienta, en este caso se usaron dos poleas lo que reduce el esfuerzo a la mitad, como se puede ver en la Fig. 44.

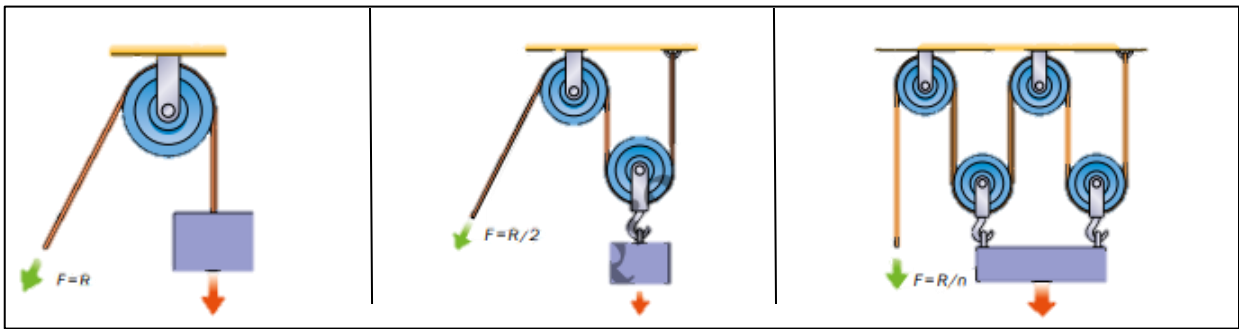


Fig. 444. Clasificación de poleas [36].

Este sistema de poleas se diseñó de forma que la herramienta no quedara muy pesada y el cortero pudiera manejarla con facilidad al halar de la cuerda, la cual está conectada a una manija de agarre para más comodidad. En la Fig. 45. se muestra el primer boceto de la herramienta.



Fig. 455. Primer boceto prototipo final.

También se realizaron los planos para cada pieza de la herramienta diseñada junto con sus especificaciones y materiales, las tijeras de poda en el Anexo 15, el sistema de accionamiento con poleas en el Anexo 16, y se añadió un sistema de extensión adaptable que permite que los corteros adapten la herramienta a su medida, dependiendo de su altura. Esta opción se tuvo en cuenta debido a que no fue posible tomar directamente las medidas antropométricas a los usuarios y se optó por este mecanismo. La extensión se puede ver en la Fig.46. y se especifica en el Anexo 17. Asimismo, se realizó una guía de recomendaciones y cuidados de la herramienta en el Anexo 18.

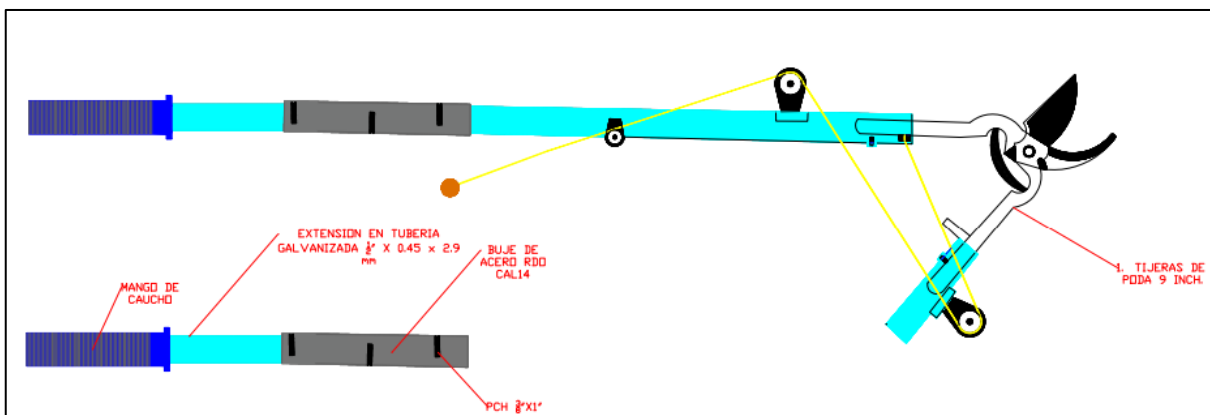


Fig. 466. Primer boceto prototipo final.

Sin embargo, se realizaron los cálculos del largo de la herramienta y la distancia que debe tener la manija desde la punta de las tijeras a la mano del trabajador, como se puede ver en la Fig. 47. y Fig. 48., respectivamente.

Para determinar el largo de la herramienta se hizo uso de las medidas antropométricas que se encuentran en la Tabla VIII, donde se tomó la altura radial que es la distancia desde el suelo al codo de la persona. Esta medida se tomó teniendo en cuenta el percentil 95, que indica que el 95% de la población laboral masculina entre los 40 y 59 años tendrá una altura radial de 112,4 cm. Como se puede ver en la Fig.47, se hizo uso del Teorema de Pitágoras para hallar la hipotenusa, que es el largo de la herramienta y los dos catetos compuestos por la altura radial y la distancia aproximada que debe haber entre la caña y la persona a la hora de efectuar el corte que es de 105 cm. Se determinó que el largo del prototipo final debe ser de 153,81 cm.

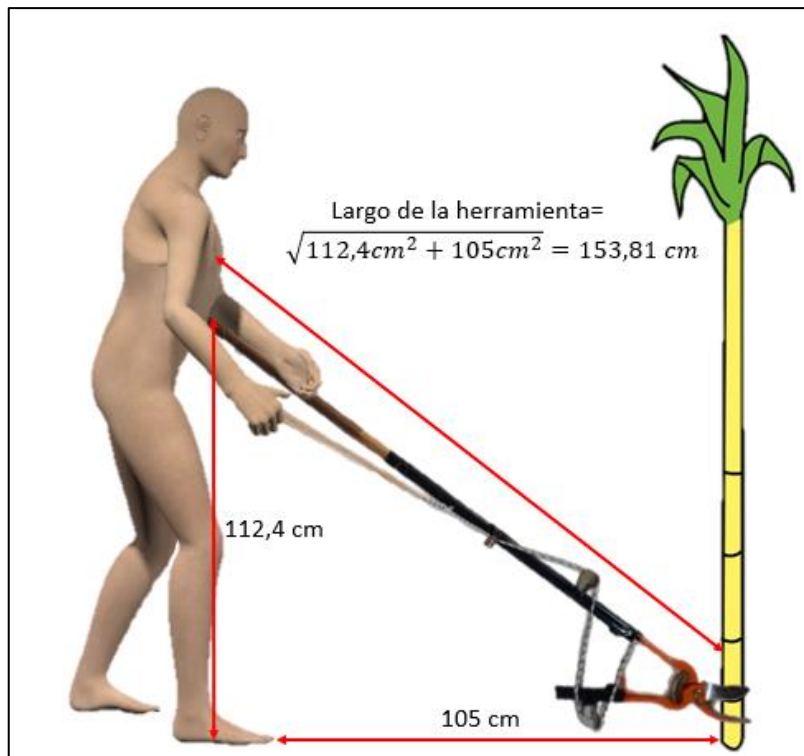


Fig. 477. Cálculo largo de la herramienta.

Para el cálculo de la distancia a la que debe estar la manija, se realizó con la altura estiloidea que es la distancia desde el suelo a la muñeca con la mano completamente extendida, teniendo en cuenta que esta medida da por debajo del coxis se determinó que podía servir para este cálculo, puesto que en la manipulación de la herramienta la mano que acciona la cuerda siempre queda por debajo del coxis. Esta medida fue de 86,4 cm que indica que el al menos el 95% de la población laboral masculina entre los 40 y 59 años presentan esta medida o menos. Igualmente, se aplicó el Teorema de Pitágoras y se determinó que la distancia a la que debe estar la manija desde el suelo hasta la mano del trabajador es 135,97cm.

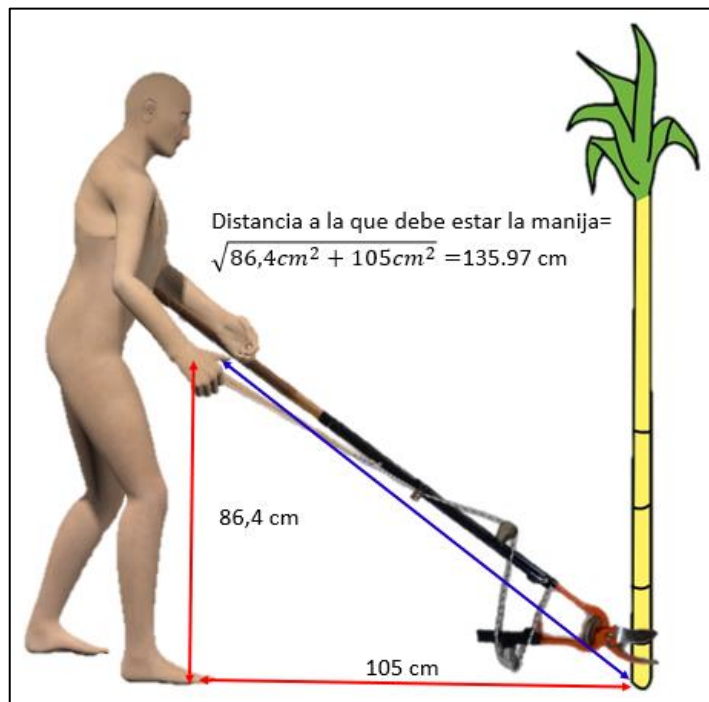


Fig. 488. Cálculo distancia a la que debe estar la manija.

Finalmente, en la Fig. 49. se muestra el prototipo físico el cual cuenta con un mango en tubería galvanizada, se añadió una extensión en madera para mayor alcance y una manija de material reciclado. El prototipo se enfoca en la solución del problema principal, el cual es mejorar la postura del trabajador y reducir la carga en la columna a la hora de cortar caña con un menor esfuerzo y además a un bajo costo. Sin embargo, la herramienta propuesta se debe seguir mejorando como en todo proceso de diseño, que es iterativo, ya que se reconocen sus puntos débiles o susceptibles de mejora. Primero, el rendimiento del cortero se puede ver disminuido debido a que la herramienta corta un solo tallo a la vez a diferencia del machete, pero se debe evaluar el aumento de la productividad ya que el esfuerzo para cortar es menor. Por otro lado, el método de trabajo se ve modificado, por lo que requiere de una adaptación por parte de los corteros, pues los pasos posteriores al corte que son el *descogolle* y *enchorre* se modificarían.

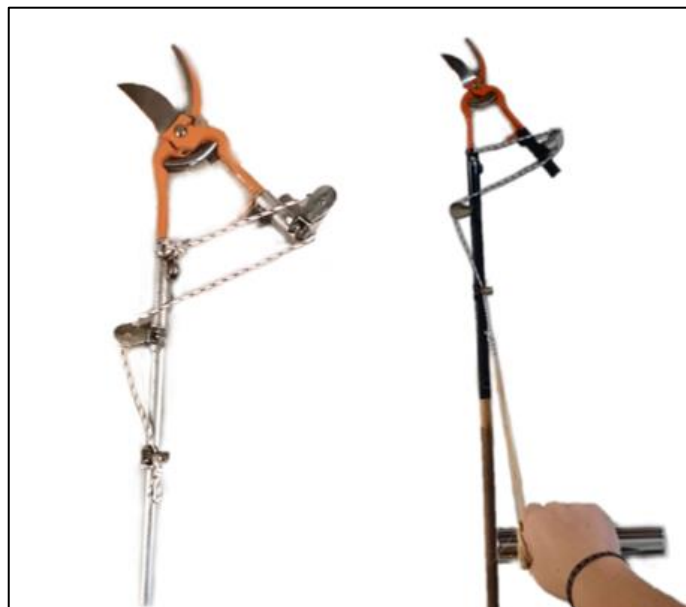


Fig. 499. Prototipo final funcional.

## Alternativas para nuevo método de corte

1. **Trabajo individual:** En la primera alternativa se considera el trabajo individual dividiendo en 2 partes el proceso de corte. Es decir, en la primera parte el cortero realiza el corte de la caña de azúcar con la nueva herramienta (la cantidad que considere apropiada). La segunda parte consiste en liberar la herramienta para disponerse a realizar el *descogolle* (en el suelo) y el *enchorre*.
2. **Trabajo en parejas:** La segunda alternativa del método de corte es considerado en parejas, en donde uno de los corteros realiza el proceso de corte de la caña con la herramienta propuesta, mientras que el otro se encarga del *descogolle* y *enchorre*. Cabe resaltar, que en esta alternativa se propone que la pareja de corteros encargados se turnen las dos tareas, para así disminuir la repetitividad de la labor, lo que sería beneficioso. Sin embargo, para trabajar en parejas se necesita de cierta coordinación y tiempo para la adaptación.

### L. Validación del diseño propuesto

Debido a la situación actual de pandemia, no fue posible realizar el proyecto de la mano del ingenio interesado, razón por la cual se buscaron alternativas para realizar la validación. La opción que se encontró más viable fue contactar a algunos corteros de la zona, de los cuales sólo uno accedió a realizar una pequeña prueba piloto en un cultivo de caña ubicado en la zona rural de Cartago, Valle del Cauca. Asimismo, antes de realizar la prueba con el cortero se realizó una visita al campo para verificar la eficacia de la herramienta, la cual se confirmó, pues logró cortar caña de azúcar sin mayor esfuerzo.

Posteriormente, se realizó la validación del prototipo con el cortero con el fin de que diera su opinión sobre el diseño propuesto. Ésta se llevó a cabo en un terreno de caña privado, por lo cual, no fue posible cortar muchos tallos de caña pues no se contaba con los permisos requeridos.

Inicialmente, el cortero expuso que no consideraba que el prototipo pudiera cortar la caña. Sin embargo, al realizar la prueba confirmó que sí es posible e indicó que no requiere aplicar mucho esfuerzo para realizar el corte en los tallos de caña delgados, pues los tallos más gruesos requieren que se realice el corte más de una vez, como se puede observar en la entrevista disponible en el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=MztwiQ0cZEs&feature=youtu.be>. El video anterior muestra la validación en campo realizada y la opinión del cortero al probar la herramienta.

A partir de esta validación, fue posible evaluar los indicadores de desempeño que corresponden al riesgo laboral, los cuales son el nivel de riesgo asociado al trabajo repetitivo y el nivel de riesgo asociado a las posturas, mediante los métodos *Check List Ocr* y *RULA*, respectivamente. Cabe aclarar que el cálculo de estos indicadores se hizo suponiendo que el trabajo fuera totalmente individual.

Por otro lado, los demás indicadores no se pudieron calcular dado que no se contaron con los corteros suficientes para realizar su evaluación, además, en cuanto al coste cardiaco tampoco había disponibilidad de un terreno para realizar las mediciones. Para el indicador de rendimiento se puede dar una estimación, pues se observó que aproximadamente se pueden cortar cinco (5) tallos de caña en 0,82 segundos. Sin embargo, no se puede confiar en este dato aproximado del rendimiento, ya que no fue posible realizar suficientes mediciones con el diseño propuesto y, además, el cortero no contaba con ninguna experiencia realizando el corte con la nueva herramienta. En comparación con el machete, se puede cortar aproximadamente cinco (5) tallos de caña en 20 segundos, por lo que se puede decir que, con el diseño actual de la herramienta es muy probable que la productividad disminuya.

A continuación, se presenta el análisis de los indicadores evaluados:

- **Nivel de riesgo asociado al trabajo repetitivo para corte en caña quemada y verde:** En el análisis del KPI encargado de medir la repetibilidad del puesto de trabajo para el cortero de caña se encontró una significativa disminución en el ICKL. Debido principalmente a la reducción del factor fuerza, que se encarga de medir la percepción del esfuerzo realizado por el cortero de caña como se puede observar que el factor fuerza (Ffz) con el machete en la Tabla XIII, corresponde al valor de 24, mientras que con la nueva herramienta se obtiene un valor de ocho (8) como se puede ver en la Tabla XIV, lo cual permite inferir que el puesto de trabajo es más seguro que el anterior a nivel de la repetitividad de movimientos.

Asimismo, el factor de recuperación se reduce con el nuevo método de trabajo, ya que se propone realizar cuatro interrupciones de al menos 8 minutos, lo que hace que el factor tenga una puntuación de 2. Igualmente, el factor de frecuencia (FF) está en función de la repetitividad dado que el cortero tira de la cuerda, movimiento propio de la labor

al igual que con en el machete, pues el trabajo posee ese requerimiento repetitivo en ambos procesos. Sin embargo, se ve reducido debido a que con la nueva herramienta se realizan menos movimientos por minuto, pues esta solo corta un tallo a la vez. Por tal motivo, el factor de frecuencia (FF) disminuyó a 2,5 como se puede ver en la tabla XVI. (Ver Anexo 19).

*TABLA XIII  
CÁLCULO ICKL CON EL MACHETE*

Puntuación para fuerza intensa	
Duración	>10%
FFz	24

*TABLA XIV  
CÁLCULO ICKL CON EL DISEÑO PROPUESTO*

Puntuación para fuerza moderada	
Duración	>10%
FFz	8

Los factores de posturas y movimientos (FP) y factor de riesgos adicionales (FC) son los mismos, ya que ambas herramientas son sujetadas por la palma de la mano todo el tiempo y en esencia el cortero debe realizar la misma tarea que con el machete (corte, descogolle y enchorre). Por último, se puede afirmar que el puesto de trabajo mejora considerablemente con la herramienta diseñada teniendo en cuenta el índice ICKL, pasando de 42,8 como se observa en la Tabla XV a un valor de 25,2 como se muestra en la Tabla XVI, en el caso de caña en verde y de 43,7 a 26,6 en caña quemada. Aunque no se cumplió la meta de que el ICKL fuera menor a 11, se puede decir que la nueva herramienta ayuda a disminuir el riesgo laboral evaluado por el *Check List OCRA* en un 41% para caña en verde y un 39,1% para caña quemada.

*TABLA XXV  
ICKL CON EL MACHETE*

Factores	Caña verde	Caña quemada
Factor de recuperación (FR)	4	4
factor de frecuencia (FF)	3	4
Factor de fuerza (FFz)	24	24
Factor de posturas y movimientos (FP)	11	11
Factor de riesgos adicionales (FC)	3	3
Multiplicador de duración (MD)	0,95	0,95
<b>Índice de (ICKL)</b>	<b>42,8</b>	<b>43,7</b>

*TABLA XXVI  
ICKL CON EL DISEÑO PROPUESTO*

Factores	Caña verde	Caña quemada
Factor de recuperación (FR)	2	2
factor de frecuencia (FF)	2,5	4
Factor de fuerza (FFz)	8	8

Factor de posturas y movimientos (FP)	11	11
Factor de riesgos adicionales (FC)	3	3
Multiplicador de duración (MD)	0,95	0,95
<b>Índice de (ICKL)</b>	<b>25,2</b>	<b>26,6</b>

- **Nivel de riesgo asociado a las posturas:**

Se realizaron tres evaluaciones a la posición de las piernas del trabajador y a los ángulos correspondientes a tronco y cuello, al realizar el corte de caña con el prototipo final como se observa en las Fig. 50. y Fig. 51. A partir de estas evaluaciones, se obtuvo que los ángulos del tronco oscilan entre 6° y 29°, mientras que los ángulos del cuello varían entre 12° y 48° y, la puntuación correspondiente a la postura de las piernas es igual a 1. Con base en los ángulos obtenidos, se realizó una simulación de los datos para calcular el indicador asociado a las posturas mediante el método RULA. (Ver Anexo 19)



Fig. 50. Evaluaciones de los ángulos del tronco diseño propuesto.

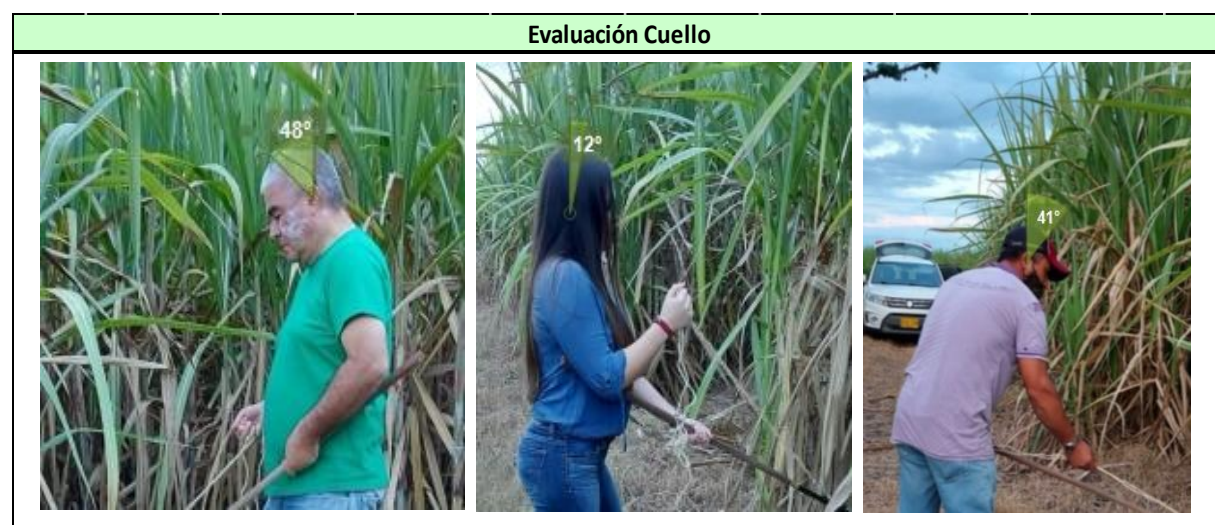


Fig. 511. Evaluaciones de los ángulos del cuello diseño propuesto.

Al realizar la asignación de las puntuaciones a los ángulos obtenidos, se obtuvo que la puntuación total disminuyó en dos puntos con respecto a la evaluación realizada con la herramienta de corte actual (machete), ya que pasó de una puntuación de 7 a 5, como se muestra en la Tabla XVII, lo cual indica que el nivel de actuación es igual a 3 y que aún se requiere un rediseño de la tarea.

TABLA XVII  
PUNTUACIONES OBTENIDAS CON EL MÉTODO RULA DISEÑO PROPUESTO

Grupo B			Puntuación total Grupo B	Puntuación total por actividad repetitiva.	Puntuación por carga o fuerza.	Puntuación final RULA.
Puntuación Tronco	Puntuación Cuello	Puntuación Piernas				
2	3	1	4	4	5	5

Finalmente, se puede decir que la nueva herramienta ayuda a mejorar considerablemente la higiene postural del trabajador, ya que los indicadores más importantes del riesgo laboral que son el ICKL y el puntaje obtenido por el RULA disminuyeron. Sin embargo, no se alcanzó a cumplir la meta esperada. Esto es debido a que la labor sigue siendo repetitiva, por lo tanto, se requiere que los trabajadores realicen más pausas activas dentro de la jornada. En la Fig. 52. Se puede evidenciar las posturas que se toman al realizar la labor antes y después de la mejora de la herramienta, donde se observa que con el machete el trabajador tenía que flexionar bastante su columna, mientras que con la nueva herramienta al tener un mango extendido permite que el trabajador pueda cortar la caña de azúcar con una posición menor a 30°. Además, los movimientos que debe realizar con la nueva herramienta son de menor impacto a los que tenía que hacer con el machete, pues se requería aplicar toda la fuerza de la mano para golpear la caña, mientras que las poleas que tiene la nueva herramienta hacen que el esfuerzo del trabajador se disminuya a la mitad.

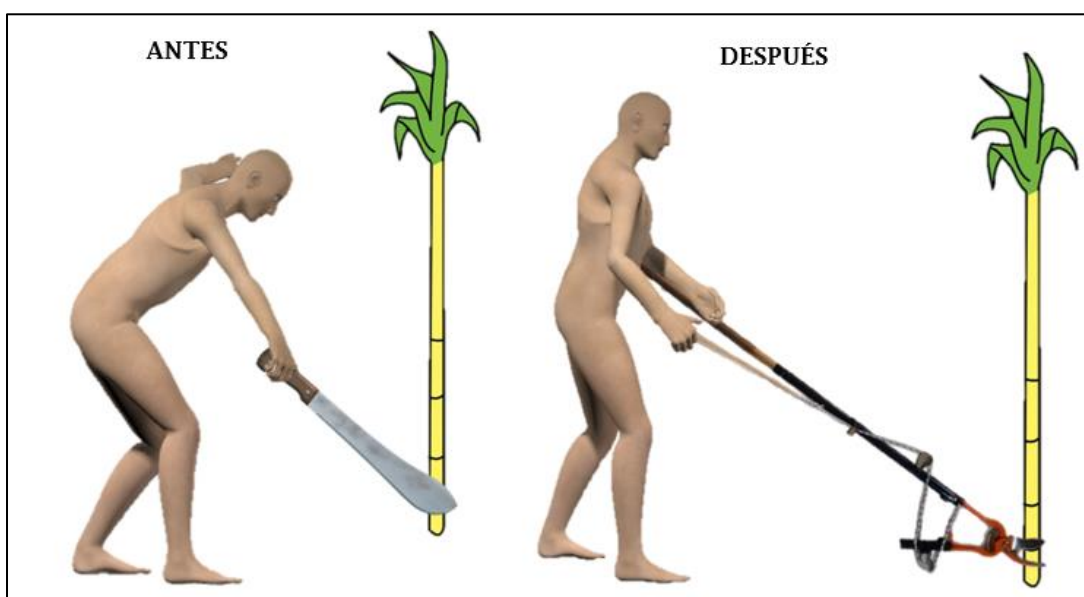


Fig. 522. Herramienta antes y después de la mejora.

## V. CONTROLAR

### M. Medición de los impactos

- Impacto financiero:** Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la etapa de mejorar, se procedió a determinar el impacto financiero de la propuesta, que se enfoca principalmente en la higiene postural del cortero lo cual se relaciona directamente con los costos que incurren los ingenios por corteros con enfermedades laborales. Primero, se estimó el costo de producción en serie de las tijeras con accionamiento por medio de poleas y cuerdas (ver tabla XVIII), partiendo del costo que se tuvo al realizar el prototipo (ver tabla XIX). Se debe tener en cuenta, que el costo de producción en serie es menor al del prototipo ya que a medida que pasa el tiempo y se adquiere experiencia en la fabricación de este, los costos disminuyen. Además, se asume que la empresa compraría las piezas ya fabricadas, y se encargaría del corte del mango y ensamble de las tijeras.

TABLA XVIII  
ESTIMACIÓN COSTO PRODUCCIÓN EN SERIE DEL PROTOTIPO FINAL

Producción en serie del prototipo (1 unidad)	Cantidad	Precio	Total
Polea níquel rueda 1-pulg	2	\$ 3.800	\$7.600
Polea níquel rueda 1/2-pulg	1	\$1.990	\$1.990
Tijera podadora con resorte	1	\$15.000	\$15.000
Mango tubería con extensor (154 cm)	1	\$13.848	\$13.848
Cuerda de accionamiento en polipropileno	1	\$600	\$600
Tornillos prisioneros	2	\$1.500	\$3.000
Mano de obra para ensamble y corte	1	\$8.000	\$8.000
<b>TOTAL/und</b>			<b>\$ 50.038</b>

TABLA XIX  
COSTO PROTOTIPO FINAL

Valor del prototipo final	Cantidad	Precio	Total
Polea níquel rueda 1-pulg	2	\$7.000	\$14.000
Polea níquel rueda 1/2-pulg	1	\$6.000	\$ 6.000
Tijera podadora con resorte	1	\$25.000	\$25.000
Mango tubería con extensor (154 cm)	1	\$30.000	\$30.000
Cuerda de accionamiento en polipropileno	1	\$2.000	\$2.000
Tornillos prisioneros	2	\$3.500	\$7.000
Mano de obra	1	\$50.000	\$50.000
Asesoría diseñador industrial	1	\$200.000	\$200.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$334.000</b>

Por otro lado, se realizó el cálculo del costo de las dotaciones de herramientas que se realiza actualmente y las que se necesitarían en la implementación de la propuesta de mejora para un total de 126 corteros activos. En el caso de implementar la herramienta que ha sido específicamente diseñada para el corte a ras de suelo, se debe aclarar que el *descogolle* de la caña de azúcar se debe hacer con el machete. Por esta razón, independientemente si se decide realizar el corte en parejas o individual, lo más conveniente es dotar a los corteros con las dos herramientas, para que ellos tengan autonomía y el cuidado sobre las mismas. Sin embargo, se realiza un supuesto de que las dotaciones de machetes se disminuirían en al menos un 50% ya que no se desgastaría tanto como antes. Ver tabla XX.

TABLA XX  
COSTO DOTACIONES DE HERRAMIENTAS ANTES Y DESPUÉS

Dotaciones actualmente	Corteros	Dotaciones/año	Precio	Total
Costos anuales de dotación machete	126	24	\$ 10.000	\$ 30.240.000
Dotaciones propuestas de mejora	Corteros	Dotaciones/año	Precio	Total
Costos anuales de dotación machete	126	12	\$ 10.000	\$ 15.120.000
Costos anuales de dotación herramienta diseñada	126	4	\$ 50.038	\$ 25.218.991

Para realización del análisis financiero fue importante evaluar la productividad y los costos por enfermedad laboral. Se tomó como referencia la productividad en el corte de caña quemada, ya que es mayor a la de caña en verde, la cual es aproximadamente

5,89 THD. Teniendo en cuenta que a los corteros les pagan por tonelada; se calculó un precio promedio de la tonelada \$10.816 y se multiplicó por la cantidad de corteros y los días laborales en el año. Los cálculos anteriores se pueden observar en el Anexo 20 donde se obtuvo como resultado un costo de \$ \$2.505.219.749 por el pago de mano de obra con la productividad actual en el año. Por otro lado, los costos reportados por el ingenio debido a la reubicación de corteros por enfermedad laboral son de \$7.192.000.000 al año.

En este sentido, para evaluar los ahorros que tendría la empresa al implementar la propuesta se realizó un supuesto de que la disminución en los costos por enfermedad laboral puede llegar a disminuir en la misma proporción en que mejoraron los Kpi's de riesgo laboral. En este caso, se toma un valor promedio del 34% de mejora del riesgo laboral como se puede ver en la tabla XXI. Por otro lado, se realizan diferentes escenarios para evaluar la productividad de la propuesta, ya que no se sabe con certeza cuánto podría impactar la herramienta este indicador, ver tabla XXII.

**TABLA XXII**  
**PORCENTAJE DE MEJORA DEL RIESGO LABORAL**

<b>Kpi</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>% Mejora</b>
<b>ICKL caña verde</b>	42,8	25,2	41%
<b>ICKL caña quemada</b>	43,7	26,6	39%
<b>RULA</b>	7	5	29%
		<b>Promedio %</b>	<b>34%</b>

**TABLA XXIII**  
**ESCENARIOS DE EVALUACIÓN**

<b>Escenarios de evaluación</b>	<b>Productividad</b>
Escenario pesimista	Disminuya 50%
Escenario moderado	Se mantenga igual
Escenario optimista	Aumente 15%

Asimismo, se tienen los siguientes supuestos:

- Los corteros no pueden recibir un pago menor por su trabajo en caso de que la productividad disminuya, por esta razón los costos por mano de obra se mantienen a pesar de que la productividad es menor. Esto significa que el precio por tonelada aumenta.

- Si se deseara mantener el mismo nivel de productividad los costos por mano de obra se incrementarían en el mismo porcentaje que se disminuyó la productividad, ya que se debe contratar más corteros o que trabajen más tiempo para cumplir con la demanda de caña.

A continuación, se muestra en la tabla XXIII, tabla XXIV y tabla XXV, la evaluación del ahorro que se tendría para el escenario pesimista, moderado y optimista respectivamente. Se debe tener en cuenta, que el método actual consiste en realizar todo el proceso de corte de la caña con machete, desde el corte a ras de suelo, *descogolle* y *enchorre*. El método propuesto consiste realizar el proceso de corte de caña haciendo uso de la herramienta diseñada para el corte a ras de suelo, donde además se dispone del machete para el *descogolle* y *enchorre* posterior. Se realiza el supuesto de que a los corteros se les dota de las dos herramientas, ya sea si el trabajo es en parejas o individual. En estas tablas, no se tuvo en cuenta el costo de dotación de la herramienta diseñada, ya que este hace parte del costo de la inversión y se usó más adelante. Para ver los cálculos realizados, ver Anexo 20.

En la tabla XXIII, se puede observar que en el escenario pesimista la productividad por THD cortada disminuye un 50%, por tal motivo la cantidad de corteros pasa de ser 126 a necesitarse 252 corteros para poder cumplir con la demanda de caña actual. Así mismo, se observa que el precio por tonelada cortada aumenta debido a que se corta menos caña y se debe mantener el mismo sueldo a los corteros. En este escenario debido a que los corteros se duplican, así mismo sucede con los costos anuales de dotación machetes que pasan de ser \$15.120.000 con el método propuesto a \$30.240.000; los costos de mano de obra y reubicación de

corteros debido a las lesiones se duplican de igual manera. Por esta razón, en este escenario se obtiene una pérdida de aproximadamente \$4.806.659.749.

*TABLA XXIII*  
*AHORRO ESCENARIO PESIMISTA*

<b>Escenario pesimista</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Método actual</b>	<b>Método propuesto</b>
Productividad por THD cortada (ton)	231.615	115.807
Corteros	126	252
Precio tonelada	\$10.816	\$21.633
Costos anuales de dotación machetes	\$30.240.000	\$30.240.000
Costos por mano de obra	\$ 2.505.219.749	\$ 5.010.439.499
Costo reubicación de corteros debido a lesiones	\$7.192.000.000	\$9.493.440.000
<b>Costo total</b>	<b>\$9.727.459.749</b>	<b>\$14.534.119.499</b>
<b>Ahorro propuesta costos</b>		<b>-\$ 4.806.659.749</b>

En la tabla XXIV, se puede observar que en el escenario moderado la productividad por THD cortada se mantiene igual, al igual que la cantidad de corteros y el precio por tonelada. Los costos anuales de dotación machetes disminuyen un 50% con la herramienta propuesta y los costos por reubicación de corteros se mantienen igual ya se hace el supuesto que se mantiene la misma cantidad de corteros reubicados, por tal motivo se obtiene un ahorro de aproximadamente \$15.120.000.

*TABLA XXIV*  
*AHORRO ESCENARIO MODERADO*

<b>Escenario moderado</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Método actual</b>	<b>Método propuesto</b>
Productividad por THD cortada (ton)	231.615	231.615
Corteros	126	126
Precio tonelada	\$10.816	\$10.816
Costos anuales de dotación machetes	\$30.240.000	\$15.120.000
Costos por mano de obra	\$2.505.219.749	\$ 2.505.219.749
Costo reubicación de corteros debido a lesiones	\$7.192.000.000	\$7.192.000.000
<b>Costo total</b>	<b>\$9.727.459.749</b>	<b>\$9.712.339.749</b>
<b>Ahorro propuesta costos</b>		<b>\$15.120.000</b>

En la tabla XXV, se puede observar que en el escenario optimista la productividad por THD cortada aumenta un 15%, también se tiene en cuenta en este escenario que la cantidad de corteros podría aumentar, ya que tendríamos más corteros disponibles; debido a que los que están reubicados podrían volver a la labor de corte. La cantidad de corteros que aumentan para la labor de corte podrían ser 3 para cada año y se hace una evaluación para 5 años, por tal motivo aumentarían 15 en total. Así mismo, si no se implementara la propuesta el costo por reubicados podría aumentar si se enfermaran 3 corteros al año, esto con un costo de \$30.000.000 por persona, lo que en total da \$90.000.000 al año. Este valor aumentaría en los próximos años por la inflación del 3% que es estimada para el año 2021.

Los costos anuales de dotación machetes disminuyen un 50% con la herramienta propuesta, los costos por mano de obra disminuyen debido a que se corta más caña y los costos por reubicación de corteros se mantienen igual y tampoco se aumentarían en los próximos años por tal motivo se obtiene un ahorro de aproximadamente \$868.725.185.

TABLA XXVV  
AHORRO ESCENARIO OPTIMISTA

<b>Escenario optimista</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Método actual</b>	<b>Método propuesto</b>
Productividad por THD cortada (ton)	231.615	266.357
Corteros	126	141
Precio tonelada	\$10.816	\$9.406
Costos anuales de dotación machetes	\$30.240.000	\$ 15.120.000
Costos por mano de obra	\$2.505.219.749	\$ 2.129.436.787
Costo reubicación de corteros debido a lesiones	\$7.192.000.000	\$7.192.000.000
Aumento costo por reubicación año 1	\$ 90.000.000	0
Aumento costo por reubicación año 2	\$92.700.000	0
Aumento costo por reubicación año 3	\$95.481.000	0
Aumento costo por reubicación año 4	\$98.345.430	0
Aumento costo por reubicación año 5	\$101.295.793	0
<b>Costo total</b>	<b>\$10.205.281.972</b>	<b>\$9.336.556.787 0</b>
<b>Ahorro propuesta costos</b>		<b>\$868.725.185</b>

Para estos tres escenarios se evaluó la TIR y el VPN para un período de 5 años, ver Fig. 53. La inversión corresponde a la cantidad de tijeras que se tienen que comprar durante este tiempo y se considera un costo de implementación, que incluye costos en capacitación, seguimiento de la propuesta, operación y mantenimiento. La tasa interna de retorno es la tasa de interés que ofrece una inversión cuando se iguala el VPN (Valor presente neto) a 0, es decir es la rentabilidad real del proyecto. Por otro lado, el VPN permite traer a valor presente la totalidad de flujos de caja del proyecto para verificar cuáles serán las cifras de pérdidas o ganancias. En este caso, para los flujos de caja se utilizó el ahorro del primer año y para los siguientes 4 años se usó la tasa de inflación 3% estimada para el año 2021 y se multiplico por el flujo del año anterior. También se calculó el WACC o coste promedio ponderado del capital (CPPC), es la tasa de descuento que se utiliza para descontar los flujos de caja futuros a la hora de valorar un proyecto de inversión. Su resultado fue 13,9% y se usó la ecuación (5) para su cálculo, ver Anexo 20 para más detalle.

$$WACC = Wd * (Kd * (1 - Tax)) + We * Ke \quad (5)$$

Donde:

**Wd**= Representa el índice de endeudamiento de la empresa, corresponde a un 46%.

**Kd**= Es el coste de la deuda, es el tipo de interés al que la empresa obtiene financiación. En este caso, debido a que no se cuenta con datos de la empresa, se toma el promedio de la tasa de interés activa del año 2020, que es la que cobran las entidades financieras por los préstamos otorgados a las personas naturales o empresas. Corresponde a un 10%.

**Tax**= Es la tasa de impuestos establecido por el gobierno nacional, corresponde a un 33%.

**We**= Representa el índice de dividendo de la empresa, corresponde a un 54%.

**Ke**= Es el coste de capital que incurre una empresa para financiar sus proyectos de inversión a través de los recursos financieros propios. Debido a que no se cuenta con una tasa determinada por la empresa, se realiza una supuesto de que la tasa sea 20%.

Escenario pesimista		Escenario moderado		Escenario optimista	
WACC	14%	WACC	14%	WACC	14%
Año	Propuesta	Año	Propuesta	Año	Propuesta
Inversión 2021	-\$ 141.094.954	Inversión 2021	-\$ 141.094.954	Inversión 2021	-\$ 141.094.954
Flujo caja 2022	-\$ 4.806.659.749	Flujo caja 2022	\$ 15.120.000	Flujo caja 2022	\$ 868.725.185
Flujo caja 2023	-\$ 4.950.859.542	Flujo caja 2023	\$ 15.573.600	Flujo caja 2023	\$ 894.786.941
Flujo caja 2024	-\$ 5.099.385.328	Flujo caja 2024	\$ 16.040.808	Flujo caja 2024	\$ 921.630.549
Flujo caja 2025	-\$ 5.252.366.888	Flujo caja 2025	\$ 16.522.032	Flujo caja 2025	\$ 949.279.466
Flujo caja 2026	-\$ 5.409.937.895	Flujo caja 2026	\$ 17.017.693	Flujo caja 2026	\$ 977.757.850
TIR	0%	TIR	-16%	TIR	619%
VPN	-\$ 17.569.167.991	VPN	-\$ 86.272.587	VPN	\$ 3.008.744.388

Fig. 533. Evaluaciones TIR y VPN para cada escenario.

Se puede concluir que, en caso de que la propuesta llegara a disminuir la productividad en un 50% no vale la pena realizar la inversión, ya que todos los flujos de los siguientes años representan pérdidas. Esto debido a que para mantener el mismo nivel de producción se requiere contratar el doble de corteros, lo que conlleva a que se dupliquen los costos de mano de obra, dotación de herramientas y los costos de reubicación de corteros por enfermedad laboral. Si el escenario es moderado, se puede ver igualmente no valdría la pena invertir en el proyecto ya que la  $TIR < WACC$  y el  $VPN < 0$ , pues los ahorros no son significativos. Sin embargo, si la productividad aumenta al menos un 15% y los costos por corteros reubicados no aumentan, los indicadores son muy positivos; puesto que los flujos de caja son altos y la  $TIR > WACC$  y el  $VPN > 0$ , lo que indica que valdría la pena hacer la inversión. Esto es debido a que el ingenio se ahorraría en los próximos años el pago a nuevos corteros reubicados y además podría contar con más corteros disponibles para el corte de caña.

- **Impacto social:**

La herramienta diseñada está enfocada en la mejora de las condiciones laborales, específicamente en la higiene postural de los corteros de caña, por este motivo ellos son los principales beneficiados. Su diseño cuenta con un mango extendido el cual permite que el trabajador corte la caña de azúcar con una posición del tronco más adecuada que con el uso del machete. Debido a que con el machete se realiza una flexión del tronco de aproximadamente 60° y con la nueva herramienta es menor a 30°. Por esto, se obtuvo que con la implementación de la nueva herramienta se disminuye el nivel de riesgo asociado a las posturas de 7 a 5 puntos en el puntaje general medido con el método RULA, lo que representa una mejora del 29%. Así mismo, el índice *Check List Ocra* mejoró en un 42% lo que indica que la repetitividad en la labor se disminuye y otros factores como la fuerza y las posturas tomadas en la labor son más idóneas.

Asimismo, la propuesta contribuye a reducir enfermedades laborales, ya que elimina los problemas asociados al movimiento repetitivo en la columna y los movimientos que se realizan con la herramienta están dentro de los ángulos de confort, eliminando la posibilidad de una posible lesión al operario que realiza la actividad del corte. Por otro lado, el sistema de poleas que se diseñó disminuye la fuerza necesaria para cortar la caña lo que beneficia al cortero en el nivel del esfuerzo que tiene que hacer y el impacto en su cuerpo es menor.

El implemento de esta herramienta permite la reincorporación más temprana a la actividad de corte en aquellos trabajadores con restricciones laborales, dado que permite que el operario pueda hacer uso de esta nueva herramienta para continuar con su labor sin afectar el problema osteomuscular que presente. Además, se disminuye la reubicación de corteros en otras áreas, ya que pueden seguir realizando su labor.

- **Impacto ambiental:**

La herramienta fue probada en un campo de caña sin previa quema controlada, por lo que se comprueba que la herramienta funciona en caña verde y no es necesario que se queme la caña. Esto genera múltiples beneficios, como lo son: menos problemas respiratorios en las personas cercanas al lugar, los aviones no se tienen que desviar por el humo, el impacto ambiental como las alteraciones climáticas, migración o extinción de especies, contaminación por la lluvia de partículas y cenizas volátiles acompañadas de humo y gases no visibles puede disminuir ya que la quema ocasiona que se degrade el ambiente paulatinamente.

#### N. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control)

Con el fin de lograr que el diseño propuesto sea utilizado correctamente, se presenta el manual de usuario correspondiente a la herramienta de corte manual de caña con extensión, como se puede ver en la Fig. 54, donde se resalta su función detalladamente, se muestran los cuidados y recomendaciones para la herramienta y se especifican ciertas medidas de seguridad que el operario debe tener en cuenta al utilizarla. (Ver Anexo 21).

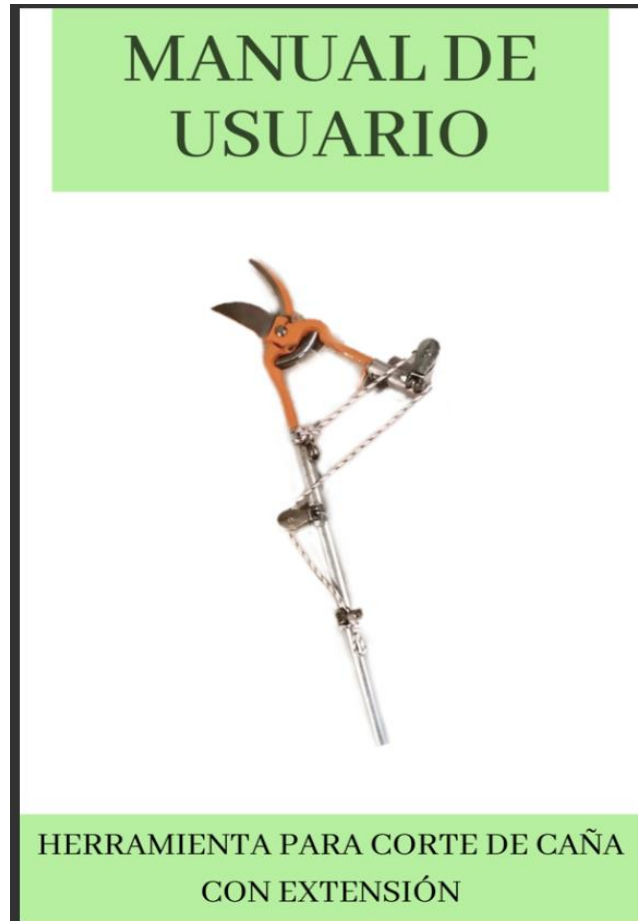


Fig. 544. Manual del usuario.

#### O. Conclusiones

- Por medio de los datos recolectados y su posterior análisis se pudo determinar que el principal problema que causa las lesiones de columna en los corteros de caña es la herramienta que se usa actualmente, ya que impulsa a que el cortero realice constantemente flexiones de columna y sin importar que por medio de capacitaciones se resalte la importancia de mantener la higiene postural, cuidando los movimientos efectuados al realizar la labor, el cortero se resiste al cambio y a la adopción de métodos ergonómicos en el campo, pues consideran que la forma en que realizan la tarea es la adecuada por sus largos años de experiencia. Por tal motivo, se decidió diseñar una nueva propuesta que mejore la higiene postural del trabajador.
- Se resalta que fue muy importante hacer la revisión de la literatura, ya que se logró evidenciar que no hay una alternativa directa en el mercado que dé solución a la problemática en estudio, que permita disminuir las lesiones de columna sin disminuir el rendimiento, ni tenga un costo extremadamente excesivo. Sin embargo, se logró tener conocimiento de algunas patentes y modelos existentes de otras herramientas y equipos, de los cuales se pudo tomar ideas para la fase de ideación y obtener los primeros prototipos y finalmente llegar al prototipo final funcional.

- A través del análisis funcional del machete y por medio de la “Inmersión Cognitiva” se pudo determinar los principales elementos que debía tener la nueva herramienta diseñada y ponerse en el lugar del usuario para mejorar las funciones de esta.
- Se puede concluir que todo proceso de diseño es iterativo y que por medio de los prototipos realizados y la retroalimentación obtenida por los corteros entrevistados se pudo mejorar cada vez más la herramienta diseñada. Además, la obtención de las medidas antropométricas de la población resultó ser muy importante para determinar las medidas del diseño de manera que la herramienta sea apta para la mayoría de corteros.
- Las tijeras de poda con accionamiento por medio de poleas y cuerda permitieron cortar caña de azúcar con poco esfuerzo y con una flexión del tronco mínima, lo que ayuda a mejorar la postura del trabajador. Sin embargo, se debe seguir mejorando la misma para que pueda cortar cañas con tallos gruesos y se aumente la velocidad de corte, lo que mejoraría la productividad de los corteros.
- Al realizar la evaluación del indicador asociado a las posturas mediante el método RULA, se puede observar que al comparar el diseño propuesto con la herramienta utilizada actualmente (machete), se logra disminuir la flexión ejercida por el trabajador cuando realiza el corte manual de caña, pues los ángulos de inclinación del tronco disminuyen con la herramienta propuesta, ya que, con el machete el ángulo de inclinación oscilaba entre  $57^\circ$  y  $66^\circ$ , mientras que con el diseño actual oscila entre  $6^\circ$  y  $29^\circ$ . A partir de los cálculos realizados mediante este método, se concluye que el puntaje final RULA con el método propuesto disminuyó de 7 a 5, pasando de un nivel de riesgo 4 a un nivel de riesgo 3, lo que implica que aún se requiere rediseñar la tarea. Y, aunque no se logró reducir el nivel de riesgo como se había establecido, la herramienta propuesta representa un porcentaje de mejora asociado a las posturas del 29%.
- Con la implementación de la herramienta potenciada por las poleas se logró disminuir el índice *ICKL* en un 41% para caña verde y en un 39% para caña quemada. El factor con mayor afectación del método *ICKL* con la nueva herramienta fue el factor fuerza el cual se disminuyó en 67% para ambos tipos de corte. Concluyendo así, que esta nueva metodología va muy de la mano con la disminución del esfuerzo que siente el cortero en el proceso estudiado. Por último, cabe resaltar que el índice calculado de *ICKL* aún sigue estando por fuera del aceptado, por lo que se debe buscar la mejora continua ya sea en el método o en la herramienta.
- A partir del análisis financiero se puede concluir que si la herramienta disminuye o se mantiene igual la productividad actual la inversión no es viable pues el  $VPN < 0$  y la  $TIR < WACC$ . Sin embargo, si la productividad mejora al menos en un 15% el proyecto es viable ya que  $TIR > WACC$  y  $VPN > 0$ , esto es debido a que los costos por la reubicación de corteros con enfermedades laborales son muy altos y no se aumentarían más si la propuesta es implementada.

#### P. Recomendaciones

- Como primera instancia, por el tiempo limitado que tuvo este proyecto, no se logró prototipar una herramienta automática que ayude a optimizar la herramienta propuesta, permitiendo una mayor velocidad y productividad. Por esto, se ha diseñado un boceto mejorado, como se puede ver en la Fig. 55. La herramienta tiene como objetivo que, cuando el operario accione el botón de encendido o corte, la energía de la batería pase por los cables, encendiendo el motor que moverá los engranajes que conectan con una rueda atada a la cuerda, haciendo que la cuerda se enrosque y el sistema de la tijera corte la caña de un solo golpe. Luego, el resorte de la tijera y el interno, hacen que las hojas se vuelvan a abrir para poder realizar un nuevo corte a otra caña. Asimismo, se recomienda hacer la tijera con unas cuchillas más grandes, que permitan cortar cañas con tallo más grueso. Esta propuesta también cuenta con un sistema que permite extender el mango a la altura que el cortero desee, como se puede ver en la Fig. 56.

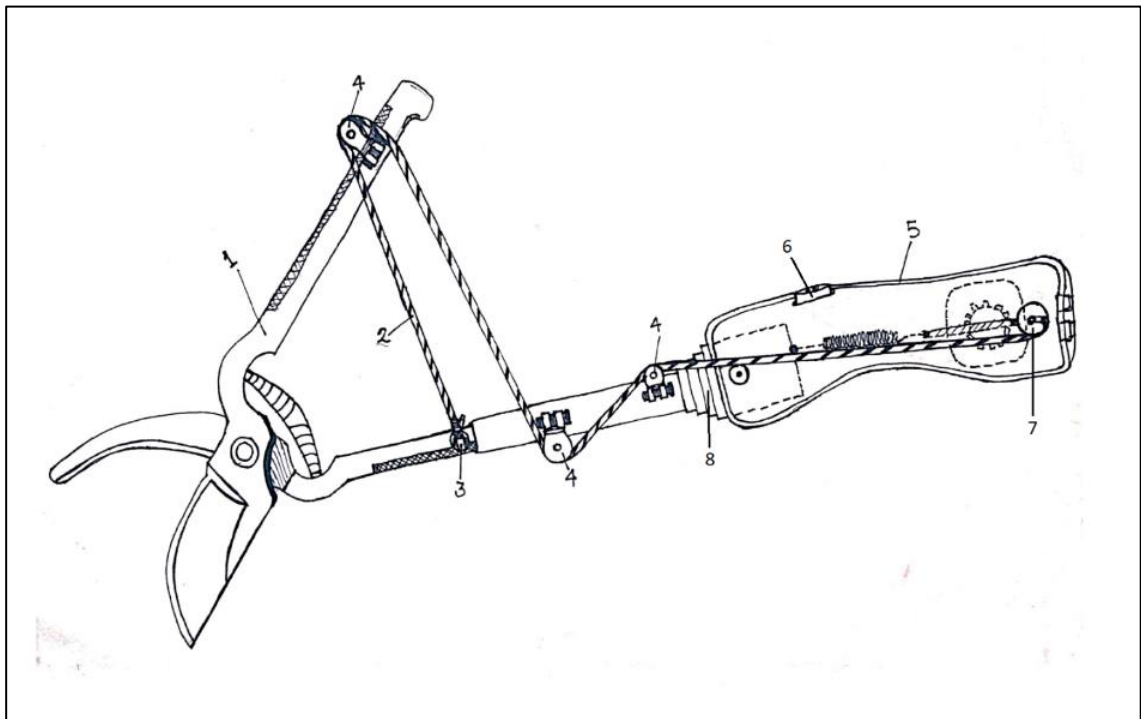


Fig. 555. Propuesta de mejora herramienta.

Como se puede evidenciar, la herramienta consta de:

1. Tijera de poda de metal, con hojas más grandes que las convencionales para poder cortar cañas con diámetros gruesos.
2. Cuerda de accionamiento en polipropileno, la cual, luego de pasar por las poleas, ingresa al sistema de halado y hace que se unan las hojas y se realice la acción de cortar.
3. Unión de la cuerda a la tijera de poda.
4. Poleas de níquel, por donde pasa la cuerda.
5. Mango de la herramienta.
6. Botón de corte
7. Rueda en la cual se enrosca la cuerda
8. Sistema de ajuste de longitud, el cual permite que la herramienta se ajuste a la altura del cortero.

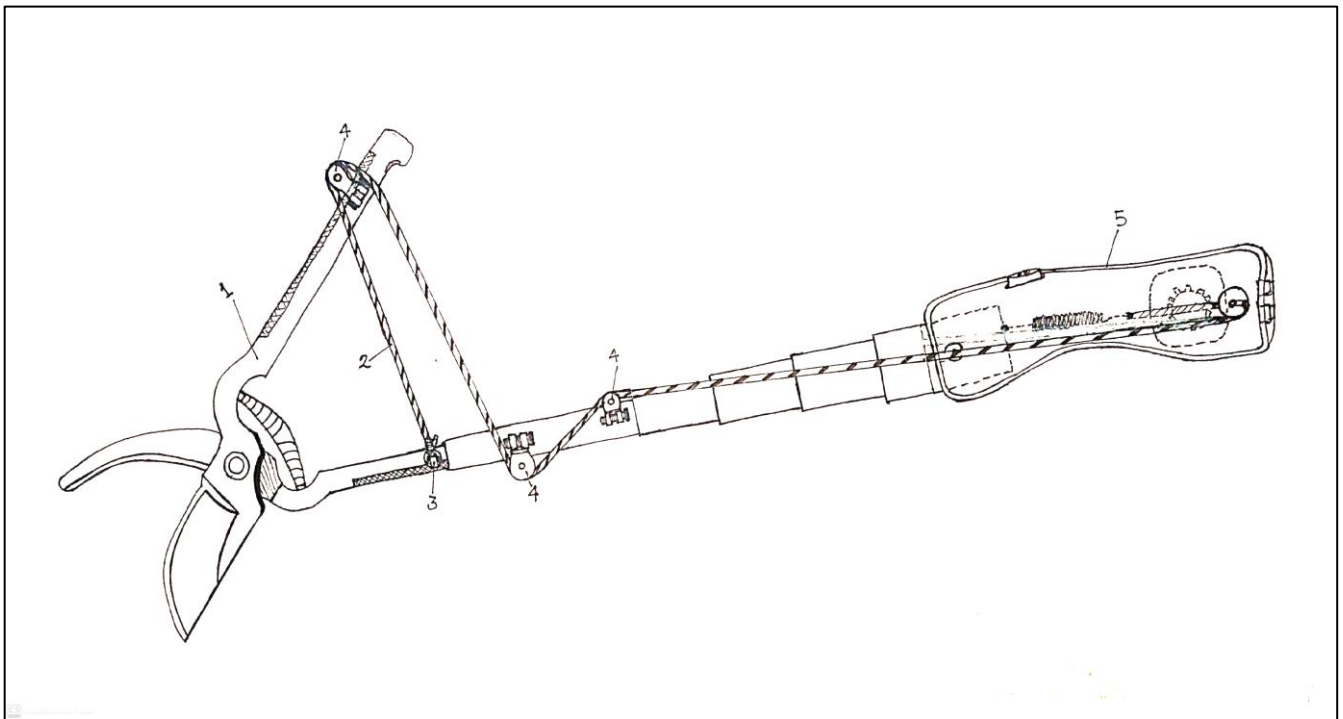


Fig. 566. Propuesta de herramienta, extendida.

Dentro del mango de la herramienta existe un sistema eléctrico y mecánico, el cual se puede observar mejor en la Fig. 57. Además, se propone un maletín para el cortero, donde se guardará una batería recargable.

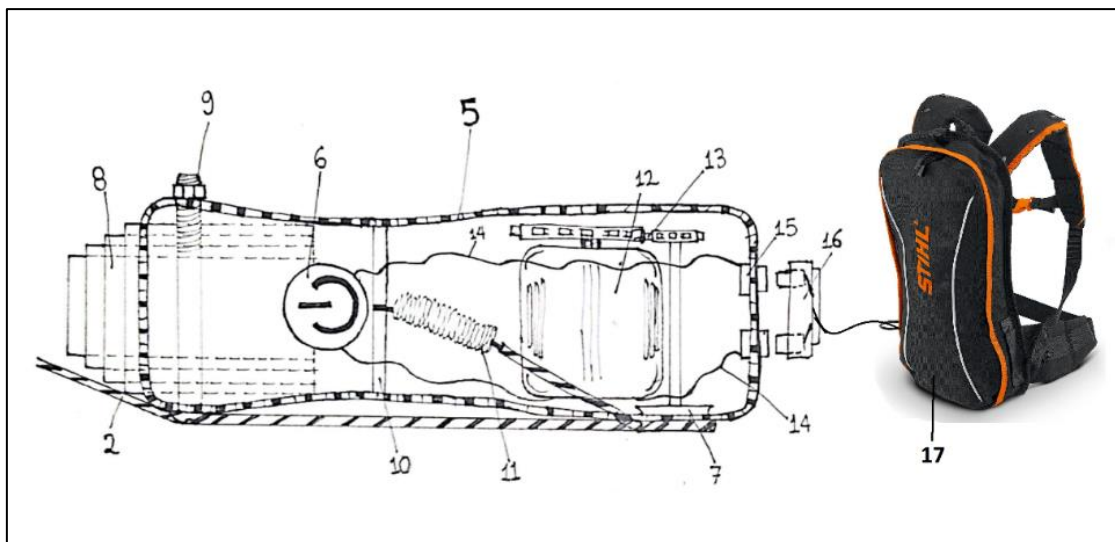


Fig. 577. Vista superior del mango, incluyendo la batería morral [45].

Se puede apreciar que, el mango cuenta con una serie de elementos que hace que todo el sistema funcione, enumerados de la siguiente manera:

- 6. Botón que, al presionarlo, hace que la herramienta corte.
- 7. Rueda en la cual se enrosca la cuerda
- 8. Sistema de ajuste de longitud, el cual permite que la herramienta se ajuste a la altura del cortero.
- 9. Tornillo para fijar el 8.
- 10. Barra de soporte para el resorte

11. Resorte unido a la cuerda permite que el sistema vuelva a quedar abierto, luego de que la persona ha presionado el 6.
  12. Motor, transforma la energía eléctrica en mecánica para hacer rotar su eje y mover 13.
  13. Engranajes. Hacen que el sistema funcione mejor, obteniendo más torque para que la cuerda se enrosque en 7.
  14. Cables por donde pasa la energía.
  15. Conector de entrada para 16.
  16. Conector macho. El cual suministra la energía de la batería 17.
  17. Batería recargable y de uso prolongado que se encuentra dentro de un morral de espalda para mayor comodidad.
- Por otro lado, se propone efectuar un plan de trabajo estandarizado que involucre la realización de pausas activas y ejercicios de estiramiento durante la ejecución de la labor, con el fin de disminuir la fatiga y el impacto generado por los movimientos repetitivos. Estas recomendaciones pueden ir acompañadas de capacitaciones complementarias que permitan al cortero asimilar y reconocer la gravedad de realizar movimientos forzosos y posturas inadecuadas, para que así se adapten con facilidad a la realización correcta de la tarea.
  - Realizar estudios de seguimiento de la nueva herramienta, para evaluar la productividad en campo y el nuevo método de corte, ya sea en parejas o individual. Asimismo, realizar la toma de medidas en campo de los Kpi's que no se pudieron evaluar tanto antes como después con datos reales y no simulados.
  - Realizar estudios de dureza de la caña y el diámetro promedio o mayor que puede tener la caña de azúcar, para la implementación de una tijera con cuchillas más grandes que pueda cortar más de una caña.

## VI. GLOSARIO

- **Brix:** Cantidad de sólidos solubles presentes en la primera fase de procesamiento del jugo de caña. [37]
- **Pol:** Cantidad de sacarosa en el jugo de caña. [37]
- **Fitotoxicidad:** Describe el grado de efecto tóxico producido por una mezcla de aspersión o compuesto determinado que causa desordenes fisiológicos en las plantas y que se traduce en alteraciones del aspecto, crecimiento, vigor, desarrollo y productividad de las plantas. [38]
- **Fitosanitario:** Perteneciente o relativo a la prevención y curación de las enfermedades de las plantas. [39]
- **Descogolle:** Consiste en cortar el cogollo (maleza) de la caña con el machete.
- **Enchorre:** Consiste en agrupar la caña cortada en chorras.
- **Chorras:** Zona designada para la acumulación de tallos de caña cortada en surcos o hileras.
- **Ciclo de trabajo:** Corresponde a la realización de las actividades de corte, descogolle y enchorre de la caña.
- **Ángulos de confort:** Son aquellas posturas consideradas como aceptables que representan menor riesgo para el sistema musculoesquelético. [40]
- **Antropometría:** Herramienta que dimensiona los distintos segmentos del cuerpo con el fin de adecuar y diseñar el entorno físico que rodea las distintas actividades del hombre y con el cual interactúa directamente. [41]
- **Movimientos repetitivos:** Grupo de movimientos continuos mantenidos durante un trabajo que implica la acción conjunta de músculos, huesos, articulaciones y nervios de una parte del cuerpo y provoca en esta zona fatiga muscular, sobrecarga, dolor y, por último, lesión. [42]
- **Higiene postural:** Conjunto de normas cuyo objetivo es mantener la correcta posición del cuerpo, en quietud o en movimiento y así evitar posibles lesiones al realizar las actividades diarias, evitando que se presenten dolores y disminuyendo el riesgo. [43]
- **Prototipo:** Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura o cosa. [44]

## VII. REFERENCIAS

- [1] ASOCAÑA, "Aspectos generales del sector agroindustrial de la caña. Informe anual 2018-2019", Cali, 2020.

- [2] Cenicana.org. (2020). Cosecha, alce y transporte de caña. [En línea] Disponible en: <https://www.cenicana.org/cosecha-alce-transporte/> [Último acceso: 25 Feb. 2020].
- [3] Tennessee, Maritza (Editora) (2001), Plan Regional de Salud de los Trabajadores. Organización Panamericana de la Salud, Washington DC, Estados Unidos de América. [En línea] Disponible en : [https://www.who.int/occupational\\_health/regions/en/oehamplanreg.pdf](https://www.who.int/occupational_health/regions/en/oehamplanreg.pdf)
- [4] A. Lopez Ceballos and D. Ramirez Valderrama. “Riesgos, creencias y autocuidado en el corte manual de la caña de azúcar”. Cali, 2008.
- [5] C. Lasso, L. Amú, N. Vargas and W. Ordóñez, "Técnica Modificada de Corte de Caña de Azúcar para Corteros con Capacidad Funcional Limitada – Triguála", XI Congreso Atalac Tecnicaña, 2019.
- [6] J. Cock, *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Valle del Cauca*: CENICANA, 2020, pp. 23-27. [En línea] Disponible en: [https://www.cenicana.org/pdf\\_privado/documentos\\_no\\_seridados/libro\\_el\\_cultivo\\_cana/libro\\_p365-369.pdf](https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seridados/libro_el_cultivo_cana/libro_p365-369.pdf)
- [7] Moreno D. y Osinaga R. 2009. Uso de los indicadores de calidad de suelo en fincas del Umbral al Chaco en Salta del Estero. In XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luís, Argentina P.123. los requerimientos de las partes interesadas.
- [8] Subirós Ruiz, F. (1995). *El Cultivo de la Caña de Azúcar*. 1st ed. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, pp.319 y 320.
- [9] Congreso de la Republica, «funcionpublica.gov.co/», 1993. [En línea].Disponible: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5248>. [Último acceso: 21 Feb. 2020].
- [10] *Ley 1562- 11 Julio 2012*. Bogotá: Ministerio de Salud, 2012. [En línea].Disponible: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Ley-1562-de-2012.pdf>. [Último acceso: 21 Feb. 2020].
- [11] Diego-Mas, Jose Antonio. Evaluación del riesgo por movimientos repetitivos mediante el Check List Ocrá. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [consulta 30-04-2020]. Disponible online: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/ocra/ocra-ayuda.php>
- [12] J. Diego-Mas. Valoración de la carga física del trabajo mediante la frecuencia cardiaca. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [consulta 30-04-2020]. Disponible online: <http://www.ergonautas.upv.es/herramientas/frimat/frimat.php>
- [13] J. Diego-Mas, "Método RULA - Rapid Upper Limb Assessment", *Ergonautas.upv.es*, 2020. [Online]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>. [Accessed: 15- Apr- 2020].
- [14] D. Galvis Mantilla, "Los Sistemas de Corte Mecanizado de Caña de Azúcar. Equipos de Cosecha", *Tecnicaña*, no. 26, p. 24, 2010.
- [15] "(MSQ) Minnesota Satisfaction Questionnaire | Vocational Psychology Research", 2020. [Online]. Available: <http://vpr.psych.umn.edu/instruments/msq-minnesota-satisfaction-questionnaire>. [Accessed: 15- Apr- 2020].
- [16] Ministerio de la Protección Social, "Batería de instrumentos para la evaluación de factores de riesgo psicosocial", Bogotá D.C., 2010, p. 108 a 113.
- [17] M. F. C. Marie´ de L. Muller, «Physiological demands and working efficiency of sugarcane cutters in harvesting burnt and unburnt cane » *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2008
- [18] W. L. y. J. Vedde, «ERGONOMÍA,» de ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, Madrid, ministerio de trabajo y asuntos sociales, 2001, pp. 29,29 a 29,33.
- [19] M. Bejarano Duque, *Mejoramiento de la motivación y la productividad del cortero de caña en el valle del cauca*. Santiago de Cali, 1996.
- [20] Puntamentakul, R. *Knee musculoskeletal impairments and associated pain factors among rice farmers*. vol 31, 2018. pag 1111-1117
- [21] F. A. Fathallah, “Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture,” *Appl. Ergon.*, vol. 41, no. 6, pp. 738–743, 2013.
- [22] S. A. Southard, J. H. Freeman, J. E. Drum, and G. A. Mirka, “Ergonomic interventions for the reduction of back and shoulder,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 37, no. 2, pp. 103–110, 2007.
- [23] Maradei, F., Franco, P., & Castellanos, J. M. (2018). *Ergonomic device to harvest Castilla-Blackberry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 437, 012007. doi:10.1088/1757-899x/437/1/012007

- [24] I. Paunero, *Higiene, seguridad y ergonomía en cultivos intensivos*, 1st ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA, 2019, pp. 23-25.
- [25] A. González González, "Diseño optimizado de herramientas de precisión basado en criterios ergonómicos: modelado paramétrico con CAD/CAM/CAE y prototipado rápido", Universidad de Extremadura, 2015.
- [26] O. P. C. Series and M. Science, "Ergonomics Redesign of the Effective Chopping Tool for Harvesting the Eucalyptus Plant Ergonomics Redesign of the Effective Chopping Tool for Harvesting the Eucalyptus Plant," pp. 0–9, 2019.
- [27] L. Guo, R. Dong, and M. Zhang, "Effect of lumbar support on seating comfort predicted by a whole human body-seat model," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 53, pp. 319–327, 2016.
- [28] B. L. Ulrey and F. A. Fathallah, "Effect of a personal weight transfer device on muscle activities and joint flexions" *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 23, no. 1, pp. 195–205, 2013.
- [29] "El método Walt Disney: Una técnica creativa realista | Job Wizards", *Job Wizards*. [Online]. Available: <https://job-wizards.com/es/el-metodo-walt-disney-una-tecnica-creativa-realista/>. [Accessed: 25- May- 2020].
- [30] Figueroa, Á. "Matriz para la selección de oportunidades de mejoramiento". Proyecto de Diseño I. Pontificia Universidad Javeriana Cali. 2020.
- [31] "ES2100549 MECANISMO CORTADOR ANTICONTAMINANTE PARA CORTAR TALLOS O CAÑAS DE PLANTAS Y/O VEGETACION SIMILAR A LA HIERBA.," *Wipo.int*, 2020. [https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=ES5753196&tab=NATCOLLDOCUMENTS&\\_cid=P12-KEHCJI-96769-4](https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=ES5753196&tab=NATCOLLDOCUMENTS&_cid=P12-KEHCJI-96769-4) (accessed Sep. 10, 2020).
- [32] E. Madere, "Hand controlled rotary cutting implement," *APPLICAON FED JUY*, vol. 24, 1919, Accessed: Sep. 2020. [Online]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/95/54/e0/193bca0a68535c/US1342294.pdf>.
- [33] D. J. J. R. & G. d. Mateos, «INVENES,» 6 Junio 1968. [En línea]. Available: <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P0354724>. [Último acceso: 10 2020].
- [34] R. Avila-Chaurand, L. Prado-León, and E. Luz González-Muñoz, 2015. "Dimensiones antropométricas de la población Latinoamericana" [Online]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14486/2018sergioboh%C3%B3rquez4.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.
- [35] "6.2.2.3.- El análisis funcional. | DPMCM02.- Procesos de mecanizado por abrasión, electroerosión y especiales.," Birt.eus, 2020. [https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/PPFM/DPMCM/DPMCM02/es\\_PPFM\\_DPMCM02\\_Contentidos/website\\_6223\\_el\\_analisis\\_funcional.html](https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/PPFM/DPMCM/DPMCM02/es_PPFM_DPMCM02_Contentidos/website_6223_el_analisis_funcional.html) (accessed Nov. 10, 2020).
- [36] "Máquinas y mecanismos", *Mheducation.es* [Online]. Available: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/844861626X.pdf>. [Accessed: 10- Nov- 2020].
- [37] "Influir en los niveles de Brix y Pol en caña de azúcar | Yara Argentina", Yara None, 2020. [En línea]. Available: <https://www.yara.com.ar/nutricion-vegetal/cana-de-azucar/influir-en-los-niveles-de-brix-y-pol-en-cana-de-azucar/>. [Último acceso: 26- Feb- 2020].
- [38] Metroflor. (2020). FITOTOXICIDAD: Más que un culpable, una mirada a los múltiples factores en interacción. [En línea] Disponible en: <https://www.metroflorcolombia.com/fitotoxidad-mas-que-un-culpable-una-mirada-a-los-multiples-factores-en-interaccion/> [Último acceso: 26 Feb. 2020].
- [39] boletinagrario.com. (2020). FITOSANITARIO - ¿Qué es fitosanitario? - significado, definición, traducción y sinónimos para fitosanitario. [En línea] Disponible en: <https://boletinagrario.com/ap-6.fitosanitario,960.html> [Último acceso: 26 Feb. 2020].
- [40] "Ángulos de Confort - ERGONOMIAOFICINA", *Sites.google.com*, 2012. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/ergonomiaoficina/angulos-de-confort>. [Accessed: 03- Jun- 2020].
- [41] "Antropometría - ERGONOMIAOFICINA", *Sites.google.com*, 2012. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/ergonomiaoficina/home/antropometria>. [Accessed: 03- Jun- 2020].
- [42]

"Prevención de lesiones por movimientos repetitivos", *Prevensystem.com*. [Online]. Available: <https://www.prevensystem.com/internacional/333/noticia-prevencion-de-lesiones-por-movimientos-repetitivos.html>. [Accessed: 03-Jun- 2020].

[43]

"Higiene postural", *Acmi.org.co*. [Online]. Available: <http://www.acmi.org.co/pacientes/recomendaciones/higiene-postural#:~:text=La%20higiene%20postural%20es%20el,dolores%20y%20disminuyendo%20el%20riesgo>. [Accessed: 05- Jun-2020].

[4

"prototipo | Diccionario de la lengua española", «*Diccionario de la lengua española*» - Edición del Tricentenario, 2020. [Online]. Available: <https://dle.rae.es/prototipo>. [Accessed: 05- Jun- 2020].

[45]

"De Boer Drachten," *Deboerdrachten.nl*, 2020. <https://www.deboerdrachten.nl/sth48504900400-stihl-draagsysteem/3> (accessed Dec. 05, 2020).

## VIII. ANEXOS

TABLA XXVIVI  
TABLA DE ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTLM, Excel, Word...)
1	20203 - Anexo 1. Formato entrevista partes interesadas	Propio	Word
2	20203 - Anexo 2. Plan de recolección de datos y cálculo de variables.	Propio	Excel
3	20203 - Anexo 3. Análisis variables secundarias	Propio	Word
4	20203 - Anexo 4. Cuestionario de satisfacción laboral	Propio	PDF
5	20203 - Anexo 5. Encuesta grado de dolor	Propio	PDF
6	2020103 - Anexo 6. Diagrama SIPOC	Propio	Excel
7	2020103 - Anexo 7. Informe de situación actual	Propio	Word
8	2020103 – Anexo 8. Revisión de literatura	Propio	Word
9	2020103 – Anexo 9. Ideación	Propio	PDF
10	2020103 – Anexo 10. Selección de alternativas con AHP	Propio	Excel
11	2020103 – Anexo 11. Project	Propio	Office Project
12	2020103 – Anexo 12. Investigación de Patentes o Ideas	Propio	Word
13	2020103 – Anexo 13. Análisis Funcional Machete	Propio	Word
14	2020103 – Anexo 14. Alternativas de Ideación	Propio	Excel
15	2020103– Anexo 15. Plano tijeras de poda	Propio	PDF
16	2020103– Anexo 16. Plano accionamiento por medio de poleas y cuerda	Propio	PDF
17	2020103– Anexo 17. Plano extensión adaptable	Propio	PDF
18	2020103– Anexo 18. Recomendaciones y cuidados herramienta	Propio	PDF

19	2020103– Anexo 19. 2020103 - Anexo 19. Evaluación Indicadores de desempeño diseño propuesto	Propio	Excel
20	2020103– Anexo 20. Análisis financiero herramienta	Propio	Excel
21	2020103– Anexo 21. Manual del Usuario	Propio	PDF