

**Dispositivo que permite la labranza de la tierra para el cultivo de la yuca en Santander,
Colombia**

María Clara Linero Arévalo

Daniela Alejandra Quintero Sanabria

Trabajo De Grado Para Optar El Título De Diseñador Industrial

Directora

María Fernanda Maradei García

PhD Ingeniería Línea Ergonomía

Codirector

John Faber Archila Díaz

PhD Ciencias en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Bucaramanga

2018

Agradecimientos

Principalmente agradecerle a Dios por permitirnos llegar hasta este punto, también a nuestros padres por todo el esfuerzo realizado, por el amor y apoyo que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas. A todos los miembros de nuestras familias que de una u otra manera estuvieron involucrados, convirtiéndose en parte fundamental de nuestra formación profesional.

De igual forma queremos mostrar nuestra gratitud a la Universidad Industrial de Santander, en donde tuvimos la oportunidad de conocer excelentes profesionales y personas, que hoy son parte importante de nuestras vidas. A nuestros compañeros y profesores, especialmente a la profesora María Fernanda Maradei por ser la guía y acompañante en este largo proceso, sin sus consejos, dedicación y apoyo no hubiese sido posible la obtención de estos resultados junto con el profesor John Faber Archila. Finalmente reconocemos a la Escuela de Diseño Industrial y a todo su personal administrativo por acompañarnos e incentivarnos en nuestra formación como diseñadoras industriales.

Finalmente, agradecemos inmensamente a todas las personas que participaron directa o indirectamente en la realización de este proyecto, especialmente a los agricultores y trabajadores del campo, quienes con su tiempo, disposición y gran colaboración aportaron elementos indispensables para su desarrollo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	18
1. Planteamiento del Problema.....	20
2. Justificación	22
2.1. Pregunta de diseño.....	24
3. Objetivos.....	25
3.1. Objetivos específicos	25
4. Marco Teórico.....	25
4.1. Análisis de la actividad de la labranza en el cultivo de la yuca	26
4.1.1. Actividades en el cultivo de la yuca.....	27
4.1.2. Tipos de labranza.....	28
4.2. Riesgos en la agricultura	30
4.3. Consideraciones ergonómicas básicas para el diseño del dispositivo	30
4.3.1. Diseño de mangos.....	31
4.3.2. Manipulación de carga.....	34
4.3.3. Límites de fuerza aplicada en función de la frecuencia horaria.....	35
4.3.4. Nivel de educación del usuario.....	36
5. Metodología	37
5.1. Fase exploratoria.....	37
5.2. Fase de definición.....	37
5.3. Fase creativa.....	37

DISPOSITIVO DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE YUCA	7
5.4. Fase de ingeniería de producto	37
5.5. Fase verificación y validación	37
6. Diagnóstico de la Actividad Actual.....	39
6.1. Diagnóstico general de la actividad de labranza en términos posturales.....	39
6.1.1. Información de usuarios y del contexto.	40
6.1.2. Identificación sintomatológica del usuario.....	51
6.2. Diagnóstico general de la actividad de labranza en términos mecánicos	58
6.2.1. Análisis mecánico de la herramienta.	59
6.2.2. Consideraciones estructurales de los elementos de corte y remoción de la tierra.....	63
6.2.3. Resistencia al corte del suelo.....	66
7. Proceso Creativo.....	72
7.1. Revisión tecnológica de lo existente.....	73
7.1.1. Análisis de las herramientas existentes	74
7.2. Requerimientos de diseño	75
7.3. Generación de alternativas	79
7.3.1. Subfunción A: Limpiar el terreno.....	80
7.3.2. Subfunción B: Remoción del terreno.....	81
7.3.4. Subfunción C: Transporte.	82
7.3.5. Subfunción D: Ajuste a inclinaciones.....	82
7.3.6. Matriz morfológica.	83

7.4. Selección de las propuestas	91
7.5. Sistema mecánico	91
7.5.1. Mecanismos planteados.....	91
7.5.2. Primera reunión con expertos.....	92
7.5.3. Verificación de elementos de corte y remoción.....	94
7.5.4. Segunda revisión con expertos.....	97
7.5.5. Cálculos.....	99
7.5.5.2. Eje del tornillo de potencia.....	100
7.6. Sistema: Usabilidad – Formal estético.....	109
7.7. Materiales según la Metodología ASHBY.....	112
7.8. Verificación e integración de la propuesta.....	113
7.8.1. Encuesta de satisfacción e interpretación.....	115
8. Validación Ergonómica del Dispositivo.....	125
8.1. Análisis de la simulación ergonómica virtual 3D.....	129
8.2. Conclusión de la validación ergonómica virtual del sistema.....	134
8.3. Concepto final de diseño.....	135
8.3.1. Ficha técnica.....	135
8.3.2. Costos de fabricación.....	136
8.3.3. Diagrama de uso.....	136
8.3.4. Validación estática mediante SolidWorks.....	137

8.4. Cuadro comparativo. Azadón Vs. herramienta diseñada.....	139
9. Conclusiones	140
9.1. Limitaciones	143
9.2. Recomendaciones	144
Referencias Bibliográficas	145

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Requerimientos de diseño.....	76
Tabla 2. Resumen de diámetros por material para eje macizo.....	103
Tabla 3. Resumen de diámetros por material para eje hueco.....	105
Tabla 4. Costos del dispositivo propuestos por cada elemento.....	136

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Labranza Manual.....	28
Figura 2. Labranza mecanizada.....	29
Figura 3. Segmentos corporales considerados para el diseño del dispositivo..	31
Figura 4. Acoplamiento positivo y de fricción.....	32
Figura 5. Contorno longitudinal recto y curvo con lado cilíndrico y con forma de cono doble que requiere un agarre fuerte.....	32
Figura 6. Dimensiones para actividades rotatorias y par de torsión transferible con mangos en madera y plástico.....	33
Figura 7. Fuerzas recomendadas en función de la frecuencia horaria.....	35
Figura 8. Metodología.....	38
Figura 9. Diagrama de tareas (in) y resultados (out) para los objetivos específicos 1 y 2.	39
Figura 10. Limpieza del terreno.	41
Figura 11. Posiciones críticas en función del terreno para limpieza de suelos.....	43
Figura 12. Remoción del terreno con dos herramientas distintas (Azadón – Pica).....	43
Figura 13. Romper terrones	44
Figura 14. Aporcado.	45
Figura 15. Surco en el cultivo de la yuca.....	45
Figura 16. Posiciones críticas en función del terreno para remoción y realización de surcos.....	46
Figura 17. Hoyar el terreno con barreta.....	47
Figura 18. Posiciones críticas en función del terreno para hoyar el terreno.	48
Figura 19. Diagrama de procesos de la actividad.....	48
Figura 20. Escala de dolor en intervalos iguales	51
Figura 21. Resultados de la escala visual analógica de incomodidad.	52

Figura 22. Rangos articulares de la tarea de limpieza de la tierra en terreno inclinado.	54
Figura 23. Posturas críticas escogidas en el Software JACK	55
Figura 24. Comparación de resultados obtenidos del Software Jack para terreno plano.	56
Figura 25. Comparación de resultados obtenidos del Software Jack para terreno inclinado.	57
Figura 26. Diagrama de tareas (in) y resultados (out) para el objetivo específico 3.	59
Figura 27. Momentos relevantes identificados en la tarea de limpieza de terreno.	60
Figura 28. Cálculo (R) a partir del DCL (Momento 1).....	61
Figura 29. Cálculos (A y F) a partir del DCL (Momento 1).....	61
Figura 30. Ventaja mecánica del azadón (Momento 1).....	62
Figura 32. Perfil de la herramienta para el corte de maleza.....	64
Figura 31. Diseño de herramienta para corte de maleza.....	64
Figura 33. Tipos de cuchillas según su ángulo.....	65
Figura 34. Diseño de dientes para discos.....	66
Figura 35. Ángulo de inclinación de la herramienta.	66
Figura 36. Gráfico para la denotación de los suelos según la textura.	67
Figura 37. Características generales del perfil PS-88.....	68
Figura 38. Esquema del dispositivo para el ensayo de corte directo.....	69
Figura 39. Diagrama de proceso del ensayo de corte directo.	71
Figura 40. Diagrama de tareas (in) y resultados (out) para el objetivo específico 4.....	73
Figura 41. Diagrama de estructuras funcionales para el desarrollo del producto.	80
Figura 42. Esquema de alternativas para la subfunción A: Limpiar terreno.....	81
Figura 43. Esquema de alternativas para la subfunción B: Remover suelo.....	82
Figura 44. Esquema de alternativas para la subfunción C: Transporte.	82
Figura 45. Esquema de alternativas para la subfunción D: Ajuste a inclinaciones.....	83
Figura 41. Diagrama de proceso del ensayo de corte directo.	83

Figura 46. Matriz morfológica	84
Figura 47. Asociaciones finales a partir de la matriz morfológica.....	85
Figura 48. Descripción Alternativa 1.....	86
Figura 49. Descripción Alternativa 2.....	87
Figura 50. Descripción Alternativa 3.....	88
Figura 51. Descripción Alternativa 4.....	89
Figura 52. Descripción Alternativa 5.....	90
Figura 53. Primera reunión con expertos.....	93
Figura 54. Maquetas de alternativas de las cuchillas.....	94
Figura 55. Prueba en tierra blanda de las cuchillas	95
Figura 56. Geometría de las cuchillas del dispositivo.	96
Figura 57. Segunda reunión con expertos.....	97
Figura 58. Prototipo resultante de la segunda reunión con expertos.	98
Figura 59. Dimensiones iniciales del dispositivo.....	99
Figura 60. Cálculo para rango de inclinaciones permitido.	100
Figura 61. Propiedades de los materiales para tornillo de potencia	101
Figura 62. Tabla de diámetros preferidos para roscas ACME.....	104
Figura 63. Elementos que componen el sistema mecánico del dispositivo.	107
Figura 64. Movimientos del sistema.....	108
Figura 65. Secuencia del sistema de corte.	109
Figura 66. Render y construcción del prototipo alternativa de ajuste de postura “mango de accionamiento”	110
Figura 67. Render y prototipo del sistema de visibilidad y estabilidad.....	111
Figura 68. Propuestas para el transporte del dispositivo	111
Figura 69. Render y prototipo del sistema ajuste de alturas	112

Figura 70. Especificaciones de la propuesta final	114
Figura 71. Elementos y materiales usados en el prototipo funcional.	115
Figura 72. Esquema del experimento de satisfacción e interpretación.....	116
Figura 73. Percepción de esfuerzo, escala de Borg.	117
Figura 74. Agarres del dispositivo diseñado Vs. azadón.....	118
Figura 75. Nivel de satisfacción de los agarres.	118
Figura 76. Nivel de satisfacción de la estabilidad.	119
Figura 77. Nivel de satisfacción de la visibilidad.....	120
Figura 78. Nivel de satisfacción de la complejidad.....	121
Figura 79. Nivel de satisfacción de la funcionalidad.....	122
Figura 80. Comparación del tiempo de actividad con azadón y la herramienta diseñada.	123
Figura 81. Agarres incorrectos Vs. correcto	124
Figura 83. Posturas seleccionadas para análisis de simulación virtual en software JACK	127
Figura 82. Diagrama de tareas (in) y resultados (out) para el objetivo específico 5.....	126
Figura 84. Simulación ergonómica con la herramienta diseñada en software JACK.	128
Figura 85. Método OWAS. Herramienta tradicional Vs dispositivo diseñado.....	129
Figura 86. Compresión intradiscal. Herramienta tradicional Vs dispositivo diseñado	130
Figura 87. Promedios de la fuerza de compresión intradiscal	131
Figura 88. Momentos L4/L5. Herramienta tradicional Vs dispositivo diseñado.....	132
Figura 89. Tensión muscular. Herramienta tradicional Vs dispositivo diseñado.....	133
Figura 90. Anclaje para dispositivo diseñado en terreno plano e inclinado.	133
Figura 91. Ficha técnica del diseño propuesto	135
Figura 92. Diagrama de uso de la herramienta diseñada.	137
Figura 93. Análisis estático en SolidWorks.....	138
Figura 94. Cuadro comparativo. Azadón Vs. Dispositivo diseñado	139

Lista de Apéndices

(Los apéndices están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Apéndice A. Formato para la medición de incomodidad adaptada de W. Karwowski (1999).

Apéndice B. Características demográficas de la población.

Apéndice C. Resultados y cálculos de simulación azadón en JACK en terreno plano.

Apéndice D. Resultados y cálculos de simulación azadón en JACK en terreno inclinado.

Apéndice E. Prueba de corte directo.

Apéndice F. Consideraciones mecánicas.

Apéndice G. Análisis del estado del arte.

Apéndice H. Alternativas para la subfunción A.

Apéndice I. Alternativas subfunción B.

Apéndice J. Alternativas subfunción C.

Apéndice K. Alternativas subfunción D.

Apéndice L. Matriz QFD.

Apéndice M. Tabla de mecanismos – ventajas y desventajas.

Apéndice N. Cálculos para eje hueco.

Apéndice O. Cálculos para eje macizo por material.

Apéndice P. Cálculos del tornillo de potencia.

Apéndice Q. Planos técnicos de los elementos del sistema.

Apéndice R. Protocolo y formato de encuesta de satisfacción e interpretación.

Apéndice S. Metodología ASHBY

RESUMEN

TÍTULO: DISPOSITIVO QUE PERMITE LA LABRANZA DE LA TIERRA PARA EL CULTIVO DE LA YUCA EN SANTANDER, COLOMBIA*

AUTORES: MARÍA CLARA LINERO ARÉVALO, DANIELA QUINTERO SANABRIA**

PALABRAS CLAVE: LABRANZA, AGRICULTURA, ENFERMEDADES OSTEOMUSCULARES, ERGONOMÍA.

DESCRIPCIÓN:

La preparación de los suelos una actividad importante para obtener buenas cosechas. Una de las labores iniciales es la labranza del suelo, la cual demanda posturas forzosas como consecuencia del azadón, herramienta manual utilizada por los agricultores colombianos, que, sumándolas con la frecuencia y repetición, las condiciones del ambiente y las largas jornadas de trabajo generan en los agricultores enfermedades osteomusculares (DME) como dolor de espalda y hombro.

Se desarrolló un dispositivo que favorece la postura neutral de la espalda durante la actividad de labranza manual para el cultivo de yuca en Santander, mediante una metodología enfocada en el usuario que cuenta con cinco fases. La primera, fase exploratoria, donde se encontraron antecedentes del problema y se realizó un diagnóstico del estado actual. La fase de definición delimitó el campo de acción del proyecto, definiendo los requerimientos de diseño, en donde se generaron una serie de alternativas enfocadas en el cumplimiento de estos, en la fase creativa. La fase de ingeniería de producto permitió definir formal y mecánicamente el dispositivo, proporcionándole especificaciones técnicas. Finalmente, en la quinta fase, se verificó y se validó el dispositivo mediante prototipos sobre terreno y simulaciones humanas virtuales.

Durante el proceso se evidenció que los problemas posturales están presentes a lo largo de la actividad de labranza, principalmente en las tareas iniciales donde el agricultor requiere un gran esfuerzo para romper y penetrar en el suelo. Asimismo, la validación realizada con la nueva herramienta muestra una reducción del 42.7 % en terrenos planos y 44.8% en terrenos inclinados de la carga biomecánica de espalda y hombros, esto debido a que la postura de la espalda se mantiene en los rangos neutrales durante la ejecución de la actividad, con una reducción de 26 y 23 segundos en terreno plano e inclinado respectivamente por planta.

*Trabajo de grado.

**Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Directora: María Fernanda Maradei García. Codirector: John Faber Archila Díaz.

ABSTRACT

TITLE: DISPOSITIVO QUE PERMITE LA LABRANZA DE LA TIERRA PARA EL CULTIVO DE LA YUCA EN SANTANDER, COLOMBIA*

AUTORS: MARÍA CLARA LINERO ARÉVALO, DANIELA QUINTERO SANABRIA**

KEY WORDS: TILLAGE, AGRICULTURE, OSTEOMUSCULAR DISEASES, ERGONOMICS.

DESCRIPTION:

Soil preparation is an important activity to obtain good harvests. One of the initial tasks is the tillage of the soil, which demands forced postures as a result of the hoe, a manual tool used by Colombian farmers, which, adding them with frequency and repetition, the conditions of the environment and the long working days generate in Farmers musculoskeletal diseases (DME) such as back and shoulder pain.

A device was developed that favors the neutral posture of the back during the activity of manual tillage for the cultivation of cassava in Santander, through a methodology focused on the user that has five phases. The first, exploratory phase, where antecedents of the problem were found and a diagnosis of the current state was made. The definition phase delimited the field of action of the project, defining the design requirements, which generated a series of alternatives focused on the fulfillment of these, in the creative phase. The product engineering phase allowed the device to be formally and mechanically defined, providing technical specifications. Finally, in the fifth phase, the device was verified and validated by prototypes on the ground and virtual human simulations.

During the process it was evident that the postural problems are present throughout the tillage activity, mainly in the initial tasks where the farmer requires a great effort to break and penetrate the soil. Likewise, the validation carried out with the new tool shows a reduction of 42.7% in flat terrain and 44.8% in inclined terrains of the biomechanical load of the back and shoulders, this because the back position is maintained in the neutral ranges during the execution of the activity, with a reduction of 26 and 23 seconds in flat and inclined terrain, respectively, per plant.

*Trabajo de grado.

**Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Directora: María Fernanda Maradei García. Codirector: John Faber Archila Díaz.

Introducción

El sector agropecuario históricamente en Colombia ha sido uno de los principales motores del desarrollo económico, teniendo un aporte del 9% del PIB, una contribución del 21% en las exportaciones con un 19% del empleo total del país y una gran aptitud de sustento en ventajas competitivas y comparativas (Vélez et al, 2010).

Gracias a la gran variedad de climas y suelos colombianos, son cultivados diversos tipos de alimentos y específicamente en los Santanderes el cultivo de yuca presenta un alto porcentaje de siembra (Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca (Clayuca), 2002). Dentro del proceso productivo de la yuca y otros productos agrícolas, se encuentra la labranza, una actividad indispensable la cual es realizada de forma acelerada, pero con buenos resultados, teniendo periodos de tiempo asignados específicamente para realizarla (Rodríguez y Daza, 1995). Esta actividad agrícola consiste en la remoción de la capa vegetal del suelo que se realiza antes de la siembra para facilitar la germinación de las semillas, el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas que se van a cultivar en el área. Así mismo, permite el control de maleza y busca mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (“Labranza en la Agricultura”, 2017).

El trabajo agrícola se asocia a una serie de problemas de salud resultantes del tipo de movimientos y tareas que debe realizar el agricultor (Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (CNSST), 2008). En la etapa de preparación del terreno los trabajadores se exponen a riesgos generados por diversas fuentes que son capaces de afectar la salud y la seguridad (Carmen y Lawrence, 2010). Para el año 2006, el CNSST reportó 492 casos de enfermedades profesionales (292 hombres y 200 mujeres). La tasa de incidencia global fue de 109 enfermedades profesionales

por 100.000 trabajadores agrarios, siendo para las mujeres 1,5 veces mayor que en los hombres (CNSST, 2008).

Con base en lo anterior, se sugiere que la labranza manual favorece a la aparición de enfermedades que implican una degeneración o daño en los músculos, tendones y/o articulaciones, presentando así posibles patologías o molestias en los trabajadores. En estos procesos agrícolas es fundamental la intervención humana, por lo tanto, debe tenerse en cuenta al usuario en los procesos que mejoren la producción. Así la solución a la problemática real del campesino en la actividad de labranza debe ser abarcada desde las razones por las cuáles el agricultor realiza dicha acción hasta los métodos que usa para lograrlo. Por ello, el análisis de la interface dentro del contexto específico fue el eje conductor de esta propuesta.

Por tanto, por medio de la ergonomía y el diseño, se realizó un análisis que describió el estado actual de la labranza de forma detallada, con un desglosamiento de cada tarea a partir de los registros obtenidos del análisis observacional para ejecutar acciones correctivas. La implementación de la simulación virtual humana permitió diagnosticar y validar las soluciones planteadas, obteniendo un dispositivo que permite al usuario mejorar las posturas adquiridas en la actividad de labranza de cultivos de yuca.

Por último, se validó el resultado con usuarios reales y con simulación humana virtual. Se consideraron los aspectos ergonómicos y los mecánicos, y se comparó el diseño realizado con el método tradicional para contestar la pregunta de diseño. El proyecto propone una herramienta que mejora las condiciones de trabajo para los agricultores colombianos en el área de preparación de suelos para su posterior cultivo.

1. Planteamiento del Problema

En el territorio colombiano, se viabiliza la producción agrícola debido a la ubicación en la franja de clima tropical; se tiene una geografía variada y las temperaturas son relativamente constantes a lo largo del año. Durante el año 2014 en Colombia se obtuvo una producción de 517.489 Tn de yuca, con rendimientos promedios 12,4 Tn por hectáreas al año, según la Encuesta Nacional Agropecuaria, ENA (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), 2015). Esta demanda es requerida debido a que es un producto de gran importancia y valor, ya que se encuentra presente en la alimentación diaria de la población santandereana.

La preparación de los suelos en el cultivo de la yuca, como en cualquier otro, es una de las actividades del sector agrícola con mayor importancia en el cultivo de diversos productos, ya que es realizada con el fin de preparar las características físicas del suelo y evitar que puedan afectar la germinación de las semillas y su crecimiento (Rodríguez y Daza, 1995). En consecuencia, la labranza, es utilizada para corregir cualquier factor físico del suelo que sea problema para el desarrollo normal de las raíces de los cultivos (Amézquita, 1999).

En la región, la mayoría de estos procesos son realizados de forma manual, sin posibilidad de adquisición de maquinaria tecnificada, donde según el Plan Nacional de Desarrollo (PND) (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2010 – 2014), el 49% de los productores no tiene acceso a la asistencia técnica para este gremio. Además, una gran variedad de actividades las lleva a cabo una misma persona, cambiando frecuentemente de tipo de trabajo y cultivo. En la etapa de preparación de los suelos, los campesinos están expuestos a diferentes factores de riesgo con consecuencias en la salud y la seguridad. Dicha exposición está asociada al uso de herramientas manuales agrícolas (CNSST, 2008).

En América Latina y en el Caribe, aproximadamente el 19 % de la fuerza laboral se dedica a la agricultura. La implementación de sistemas de regulación es difícil debido a la dispersión geográfica y el gran número de trabajadores con poca capacitación técnica (Fontes, 2001). Por lo tanto, se incrementan las pérdidas debidas a producción, a gastos médicos y a incapacidades; las causas más frecuentes de incapacidad se encuentran los problemas posturales relacionados con el dolor de espalda. Así, dichos problemas pueden ser a la mala organización o a la alta carga de trabajo (Carmen y Lawrence, 2010).

Según Carmen y Lawrence (2010) el problema en términos de condiciones de trabajo penoso, son consecuencia del diseño de las herramientas manuales para la labranza de los suelos debido a que aumentan la carga laboral, sin embargo, el estudio también aduce que dicha carga se incrementa por otros factores de riesgo como, la carga física dinámica, la topografía irregular del terreno, las condiciones climáticas adversas y la presencia de zanjas y hoyos (Carmen & Lawrence, 2010). Los suelos con las anteriores características se encuentran en un alto porcentaje en el cultivo de yuca, ya que comúnmente es sembrado en laderas con pendientes superiores al 15%, suelos de baja fertilidad y con un manejo inadecuado (DANE, 2016).

Esta labor genera la adopción de posturas forzadas, donde el trabajador realiza las tareas de pie inclinado y agachado, generalmente con brazos en extensión frontal, en movimientos y desplazamientos horizontales y verticales, con levantamiento y transporte manual de cargas y movimientos repetitivos (brazos, piernas, espalda y cintura) (Carmen & Lawrence, 2010). Dichas demandas físicas propias de la actividad ocasionan numerosos trastornos musculares y óseos, como dolor de espalda crónico, dolores lumbares e incluso abortos en las mujeres trabajadoras (CNSST, 2008).

Sin embargo, pese a la existencia de diversas formas de labranza mecanizada, el uso del machete, azadón y la pica para cortar las malezas y romper los residuos de los cultivos anteriores de la siembra, es una práctica común en los países de América Latina, donde aproximadamente se realizan 0,5 millones de golpes a la tierra por 1 hectárea durante la actividad (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación ((FAO), 2015). Estas herramientas proporcionan al usuario posturas incómodas causando deterioro en la salud de los campesinos a muy corta edad y desmejorando la calidad de vida de muchos trabajadores.

Por ello, es necesario buscar desde el diseño industrial nuevas alternativas que generen en el trabajador posturas neutrales durante la preparación de los suelos en el cultivo de la yuca, con el propósito de reducir la posibilidad de aparición de enfermedades derivadas de éstas y favoreciendo el proceso de siembra.

2. Justificación

La labranza de los suelos se define en términos generales como la manipulación del suelo con el fin de alterar su estructura y disminuir su resistencia a la penetración de las raíces para convertirlo en un medio con condiciones óptimas para la germinación de las semillas y el desarrollo productivo de los cultivos (Figuroa y Morales, 1994).

El sector agrícola ha sido uno de los principales motores de desarrollo económico en Colombia, con un aporte del 9% del PIB, una contribución del 21% en las exportaciones (Vélez et al. 2010), se ubica en el puesto número 25 entre 233 países; estudio que evalúa el potencial de expansión del área agrícola sin afectar el área de bosque natural (Becerra et al, 2013). En Colombia para el año 2014, las áreas sembradas aumentaron en un 5% con relación al año anterior; en los departamentos de Santander y norte de Santander el cultivo de la yuca representa el 10% del área total, con un

rendimiento promedio de 11,5 toneladas por hectáreas (Ministerio Nacional de Agricultura de Colombia (MinAgricultura), 2015). Un gran porcentaje de la producción de yuca se da en fincas con pequeños agricultores y en áreas marginales. Por lo tanto, una proporción importante de la producción no se registra en las estadísticas de manera adecuada y precisa (Clayuca, 2002). Además, el 25 % (10'310.737 personas) de la población total colombiana vive en zonas rurales, las cuales el 73.4% de este total viven de la actividad agropecuaria, y el 68.2 % de la población rural viven en la pobreza (7'031.922 personas) (DANE, 2015). Esto evidencia que la agricultura demanda una gran cantidad de mano de obra necesaria para las actividades agrícolas, como la siembra.

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2000), en las áreas rurales, la incidencia y la gravedad de la pobreza son mayores, adicionalmente es uno de los sectores más peligrosos en todo el mundo, esta combinación de factores genera una baja calidad de vida. Dentro de los riesgos se encuentran los de carga física, los cuales son asociados por el uso inadecuado de equipos y herramientas, posiciones corporales forzadas o posturas estáticas prolongadas, transporte de cargas pesadas, trabajo repetitivo y horarios excesivamente largos. Estas condiciones de trabajo se traducen en síntomas como dolores de espalda, hombros, brazos y manos; la tasa de incidencia es de 81.3 por 100,000 trabajadores con enfermedades de trastornos articulares (OIT, 2000). Las lesiones pueden ser incapacitantes y afectar los ingresos del trabajador y las utilidades del agricultor (Baron et al, 2001).

Aun siendo la agricultura una actividad importante en el país, la mecanización es de bajo nivel en el campo colombiano, solo el 16 % de las Unidades Productivas Agrícolas (UPA) tiene acceso a maquinaria para realizar sus actividades (DANE, 2014). Puntualmente para la actividad de la labranza, existen métodos mecanizados a nivel industrial, y se ha considerado que el uso y la

importación de los tractores es el indicador más apropiado para medir la mecanización agrícola, ya que es un medio que sustituye al hombre en las actividades que demandan gran esfuerzo (La problemática de la maquinaria agrícola, s.f.). Aun así, entre las principales naciones de América Latina, Colombia se caracteriza por tener un bajo número de importaciones en maquinaria agrícola, dejando al país en un alto grado de atraso. En el 2011, las compras de tractores fueron cerca de las 2.000 unidades, sin embargo, para el mismo período, las de Argentina alcanzaron 5.700, y las de Brasil, 53.000 (Perfetti, 2013).

En consecuencia, si el sector agrícola es la base fundamental para el desarrollo económico de Colombia y además el 25% de la población trabaja en este sector, es indispensable que el país propenda por mejorar las condiciones, no solo técnicas que permitirían mejor calidad de los productos agrícolas, sino también las condiciones laborales y de vida de la población campesina. Así, el estudio del diseño de nuevas herramientas o máquinas es fundamental en el marco de la agenda de desarrollo económico de la nación.

2.1. Pregunta de diseño

¿En cuánto se reduce la carga biomecánica en espalda y hombros para los agricultores al momento de realizar la actividad de labranza para el cultivo de yuca en Santander, con el dispositivo diseñado en comparación con el método tradicional?

3. Objetivos

Desarrollar un dispositivo que favorezca una postura neutral de la espalda, durante la actividad de labranza manual para el cultivo de yuca en Santander.

3.1. Objetivos específicos

-Identificar los factores biomecánicos y posturales presentes durante la actividad de labranza manual para el cultivo de yuca en Santander, en función de las inclinaciones del terreno.

-Analizar la interface usuario-herramienta durante la actividad de labranza manual para el cultivo de yuca en Santander.

-Identificar los factores mecánicos de transmisión de fuerza y ventaja mecánica.

-Integrar en el diseño de un dispositivo los factores y variaciones identificados, para favorecer la postura neutral de la espalda.

-Validar el dispositivo en términos de disminución de posturas penosas en espalda.

4. Marco Teórico

La habilitación de suelos para plantación consiste en la adecuación de un terreno que ha sido manejado por años en cultivos tradicionales, para el establecimiento de un huerto, utilizando para ello equipos de labranza primaria, como son los arados y equipos de labranza secundaria, como las rastras (Lemus y Donoso, 2008).

4.1. Análisis de la actividad de la labranza en el cultivo de la yuca

Durante la preparación del suelo para realizar una siembra hay una serie de actividades que se deben realizar de forma manual. En la historia de la agricultura el laboreo del suelo ha estado ligado de manera inseparable con el control de las malezas (Morales, 2015). La labranza manual se define como la remoción de la capa vegetal del suelo que se realiza antes de la siembra, para facilitar la germinación de las semillas, el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas cultivadas. Así mismo permite el control de maleza y se busca mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (“Labranza en la Agricultura”, 2017).

Existen tres objetivos principales los cuales resume el por qué los agricultores realizan este tipo de proceso:

- Generar las condiciones necesarias para la germinación de la tierra.
- Realizar un control de plagas y malezas.
- Suministrar los nutrientes o algún tipo de materia orgánica al suelo.

Clayuca (DANE, 2016) afirma que, para el cultivo de la yuca, la actividad de labranza está determinada por las características físicas y químicas del terreno, su contenido de materia orgánica, el manejo dado por el cultivo anterior, tipo de intensidad de malezas y fertilidad natural y potencial.

En el cultivo de la yuca, así como en otros cultivos, el clima es un factor importante para el desarrollo de la labranza, para dicho cultivo la preparación del suelo comienza en la época seca, a diferencia de regiones donde el clima es muy húmedo, en el cual la tierra se prepara hacia el final de las lluvias fuertes y las estacas o semillas se siembran al comienzo de la época seca, así se aprovechan las lluvias para el desarrollo inicial de las raíces (Clayuca, 2002).

Así como el clima es un factor importante en la actividad de labranza, el tipo de suelo donde se realizará el cultivo tiene un papel importante en el proceso de preparación de la tierra. En suelos

donde caen más de 1200 mm de precipitación pluvial, se deben hacer caballones para facilitar el drenaje y mejorar el establecimiento del cultivo y las labores de cosecha manual. En suelos más pesados y compactos, se deben hacer caballones ya que estos se saturan de agua y en la época de lluvia y la mala aireación propician la pudrición de las raíces causando pérdidas al cultivo. En suelos de textura arenosa, que predominan en los climas secos del trópico la yuca puede ser plantado en tierras llanas, exceptuando lotes que se encharcan por mal drenaje, en los que se deben realizar caballones (Cadavid, 2005).

En Colombia es común ver cómo los suelos con agricultura intensiva han ido perdiendo su estructura superficial. La labranza debe ser siempre correctiva y creativa. Correctiva, en el sentido de que debe corregir cualquier factor físico presente en el suelo que sea impedimento para el desenvolvimiento normal de las raíces de las plantas. Creativa, en el sentido de que debe permanentemente conducir al desarrollo de una capa arable, que no presente problemas físicos, químicos ni biológicos para el crecimiento de las raíces, de tal manera que se vaya edificando la sostenibilidad de los suelos y de la agricultura (Amezquita, 1999).

4.1.1. Actividades en el cultivo de la yuca. El proceso para el cultivo de yuca comprende varios pasos, iniciando con el corte de las varetas o semillas con un contenido de 5 a 6 yemas de la planta de la yuca. El método más común para realizar la siembra es la creación de camellones con alturas entre 20 a 25 cm para evitar posibles inundaciones. Una herramienta manual permite aplacar la tierra que conforma el camellón de igual forma y compactarla con el fin de que este quede macizo. Después se continúa con la realización de agujeros a lo largo de la cima del camellón teniendo aproximadamente 1m de separación, luego se procede a abonar cada agujero y

se debe realizar un riego si el terreno se encuentra seco. Para finalizar el proceso de siembra, se planta la semilla y se aporca.

4.1.2. Tipos de labranza.

4.1.2.1. Labranza Manual (Azadón). Este tipo de labranza se realiza de forma manual con la ayuda de una herramienta conocida como azadón o pala. La profundidad e intensidad producida por las herramientas de mano es muy limitada, pero, aun así, deja el suelo expuesto de tal manera que se degrada y erosiona (FAO, 2015). Durante esta actividad, el usuario se encuentra de pie inclinado y agachado, sujetando la herramienta con las dos manos, realizando movimientos de flexión y extensión frontal de manera repetitiva, donde se requiere la apertura de las piernas para mejorar su estabilidad (Figura 1).



Este tipo de labranza es una de las opciones de mayor implementación entre los agricultores, debido a que la gran mayoría de lotes utilizados para la producción de diversos productos como la caña de azúcar, se encuentra ubicados en zonas de ladera, siendo estos difíciles de mecanizar,

además, se presenta una baja asequibilidad de la maquinaria agrícola (Manrique, 2010). El proceso de siembra de la yuca se ha realizado de forma tradicional durante los años, la adopción de tecnología ha sido lenta en los Santanderes y a veces no ha tenido buenos resultados (Clayuca, 2002).

4.1.2.2. Labranza mecánica (arado). En el área agropecuaria existe una gran variedad de equipos mecánicos destinados a cumplir una función específica, tales como: romper, disgregar, nivelar, compactar el suelo, romper terrones, controlar maleza y triturar residuos dejados por los cultivos anteriores (Inostroza y Méndez, 2017).



Para el uso de este tipo de herramientas es necesario acoplarlas a un tractor o a un animal, donde el peso de estos tractores va compactando el suelo a medida que este va pasando. Estos son usados principalmente en terrenos planos o con un bajo grado de inclinación, es decir, lotes de fácil acceso, con propiedades físicas adecuadas y un porcentaje de humedad medio (Manrique, 2010) (Figura 2).

4.2. Riesgos en la agricultura

A lo largo de los años los riesgos laborales en el campo agrícola se han aumentado debido a la implementación de diversas maquinarias para mejorar el trabajo. Existen diversas actividades que generan un alto índice de accidentes debido a las irregularidades del terreno, al tiempo, a los trabajos de temporada que exigen esfuerzos continuos y horas extras, al aislamiento de los trabajadores que les impide pedir auxilio cuando se encuentran en dificultad y a la capacitación insuficiente en el uso del equipo (Zander, s.f.) (“Prevención de riesgos laborales en la agricultura”, 2001).

Según OIT (2000), la agricultura es una actividad particularmente peligrosa incluso en los países industrializados. En muchos países, el índice de accidentes mortales en la agricultura es el doble de la media de todos los otros sectores. Según estimaciones de la OIT, de un total de 335.000 accidentes mortales de trabajo anuales en todo el mundo y se calcula que 170.000 corresponden a decesos de trabajadores agrícolas.

4.3. Consideraciones ergonómicas básicas para el diseño del dispositivo

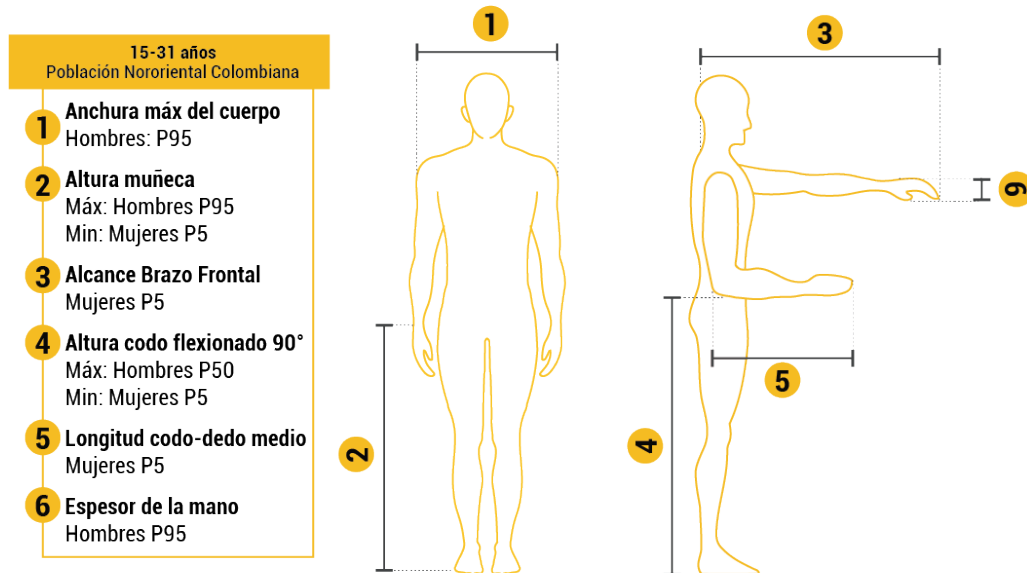
Mediante el uso de los principios ergonómicos se busca la reducción de riesgos por parte del operario en un puesto de trabajo, disminuyendo la probabilidad de lesiones y accidentes laborales logrando el bienestar, la salud, la satisfacción, la calidad y la eficiencia de las actividades en los usuarios (Mondelo, Torada, Busquetes y Bombardó, 1998). Asimismo, las condiciones para el diseño de un dispositivo que realice la actividad de labranza desde el diseño industrial se centran en un conjunto de factores que se encuentran basados en los movimientos y las herramientas que el operario usa, así como también el ambiente donde se desarrolla la actividad. Por tanto, se

consultó la siguiente normatividad que establece los parámetros de diseño requeridos para la presente investigación:

- NTP 391: Herramientas manuales (I): condiciones generales de seguridad. (INSHT, s.f.)
- NTC 5655. Principios para el diseño ergonómico de sistemas de trabajo. (2008).

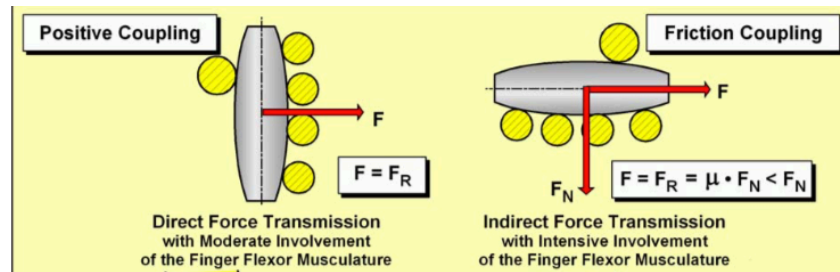
Las principales variables antropométricas que fueron tomadas en cuenta para el diseño del dispositivo para la labranza del suelo son: anchura máxima del cuerpo, altura de muñeca, alcance brazo horizontal, altura codo flexionado a 90°, longitud codo-dedo medio y espesor de la mano.

En la figura 3 se define el percentil a usar dependiendo del segmento corporal, teniendo en cuenta que el dispositivo a diseñar se debe adaptar a un grupo considerable de la población.



4.3.1. Diseño de mangos. Las herramientas de accionamiento manual deben presentar un análisis profundo en cuanto a ciertos factores del mango, debido a que este depende el correcto uso evitando esfuerzo o fatiga innecesaria. Hay que tener en cuenta ciertos factores como, por ejemplo: la forma correcta del mango, dimensiones, material y superficies basados en el cómo y

bajo qué tipo de movimientos y condiciones ambientales se ejecutará la actividad para tener un buen impacto en el diseño.



La transferencia de la fuerza de la mano a la herramienta es fundamental. Hay dos tipos de transmisiones, positivo y de fricción (Figura 4), donde esta última es desfavorable para la musculatura de los dedos, ya que se requieren fuerzas mayores (Strasser y Bullinger, 2007). El acoplamiento positivo proporciona una superficie de agarre inclinada hacia adelante similar a la empuñadura de una pistola. También es ventajoso cuando las direcciones de fuerza y función están alineadas, ya que se pueden evitar los efectos de inclinación.

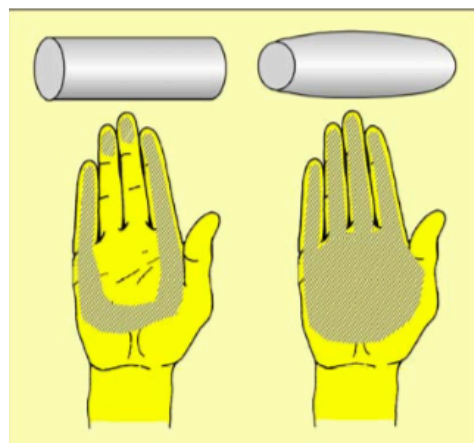
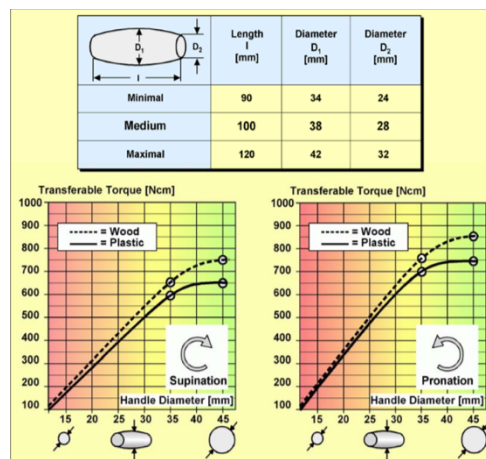


Figura 4. Acopla

Para determinar el contorno longitudinal de los mangos (Figura 5) se debe considerar una forma esférica, ya que sigue la forma de la mano y asegura que todos los dedos toquen el mango (Strasser y Bullinger, 2007). Esto también se aplica a un agarre de potencia para herramientas de una sola manija. Las fuerzas de los dedos altos pueden provocar resultados muy dolorosos con los mangos curvados que se ajustan a un estándar, ya que no es posible que todos los dedos toquen la superficie del mango sin deformación de la mano.

En cuanto las dimensiones adecuadas para propiciar un adecuado agarre, según Kluth (1999), citado en: *A Systematic Approach for the Analysis and Ergonomic Design of Hand-Held Tools and Control Actuators – Visualized by some Real-Life Examples (2007)* de los autores Strasser y Bullinger, cuando estos son demasiado delgados pueden provocar contracciones, mientras que los mangos que son demasiado gruesos no proporcionan un buen ajuste a la mano.

En la figura 6, se observan algunas dimensiones para la longitud y el diámetro de los mangos refiriéndose a las empuñaduras mecánicas adecuadas para movimientos giratorios y de traslación tanto en la transmisión de fuerza positiva como en la de fricción. También, observamos gráficos donde se percibe la diferencia entre el torque cuando el mango es de madera o plástico para la



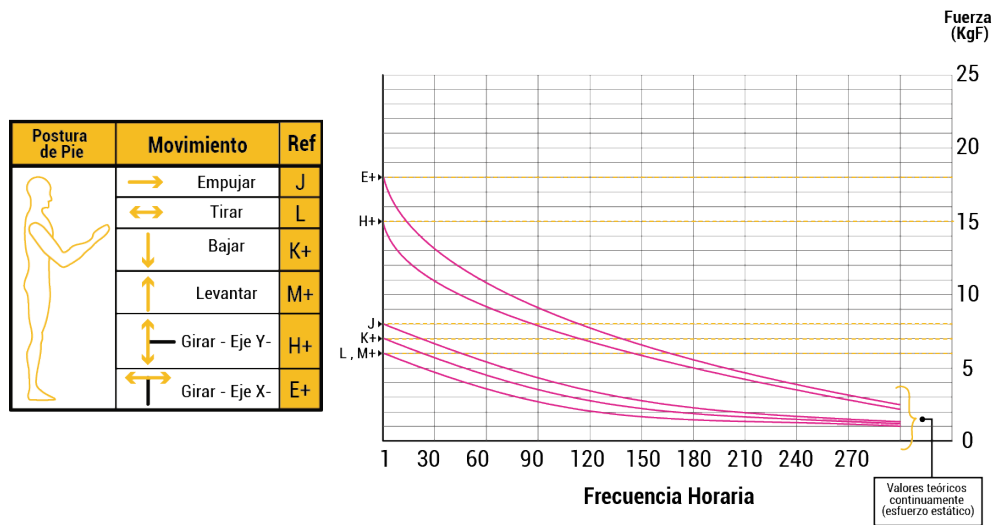
muñeca en supinación y pronación. La pronación (rotación hacia adentro de la mano) con diámetros de mango grandes, permite un torque sustancialmente mayor que la supinación (rotación hacia afuera).

La selección del material incorrecto puede conducir a peores resultados incluso con una forma ergonómicamente adecuada. Son favorables los materiales antropomórficos a presión con superficies suaves, posiblemente ligeramente ahuecadas, que se adaptan a la mano y las falanges convexas. Los mangos cincelados y las superficies con una textura rugosa con llevan el riesgo de una alta presión superficial en la mano y contracciones de la piel con ampollas resultantes. Las superficies lisas y microtexturizadas dan como resultado las áreas de acoplamiento más grandes, lo que es óptimo para la transmisión de fuerza (Strasser y Bullinger, 2007).

4.3.2. Manipulación de carga. La intervención del usuario en la actividad es analizada por la Manipulación Manual de Cargas, MMC, puesto que representa un riesgo en el usuario ya sea cuando se hace de forma directa (levantamiento, colocación) o de forma indirecta (empuje, tracción, desplazamiento). Según la Universidad de Málaga (2007), se considera que la manipulación manual de toda carga que pese más de 3 Kg puede ser potencialmente un riesgo dorsolumbar no tolerable, aunque este sea un valor pequeño, si el usuario manipula la carga en condiciones no ideales o desfavorables como por ejemplo, en una postura forzada, con la carga alejada del cuerpo, de forma muy recurrente y en condiciones ambientales desfavorables, con suelos inestables y en movimientos repetitivos, podría generar un riesgo de DME en el usuario (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 1997). Por tanto, se considera evitar manipulaciones de cargas cuyo peso sea mayor de 3 Kg, manipulada por encima de los hombros o por debajo de las rodillas, alejados del cuerpo y con el tronco muy girado.

4.3.3. Límites de fuerza aplicada en función de la frecuencia horaria. Según la norma AFNOR NF X35 -106 (Ergonomie - Manutention manuelle de charge pour soulever, déplacer et pousser/tirer - Méthodologie d'analyse et valeurs seuils) se determinan los límites de fuerza aplicados por el usuario cuando se accionan controles, herramientas o piezas, dependiendo de la frecuencia horaria, la postura adquirida y el tipo de movimiento o accionamiento. Según el caso de estudio de la presente investigación, se analizan las posturas de pie con movimientos repetitivos de empujar (J), tirar (L), bajar (K+), levantar (M+) y finalmente con movimientos giratorios en el eje Y (H+) y en el eje X (E+). Según esta nomenclatura, se puede determinar la fuerza recomendada en función de la frecuencia horaria por la norma AFNOR NF X35 -106 (Figura 7).

El movimiento realizado por el usuario influye en la fuerza de accionamiento generada, donde



los movimientos giratorios generan mayor fuerza mientras que los movimientos de tirar y levantar menor. En función de la frecuencia horaria, analizando los datos en una frecuencia crítica de 300, se observa que los movimientos giratorios pueden llegar a generar una fuerza entre 1.75 a 2.2 KgF. Si dividimos 300 giros realizados en 1 hora, podemos tener un referente de las vueltas requeridas

para el accionamiento del dispositivo trascurrido un minuto de actividad, es decir, 300 giros /60 minutos = 5 giros/minuto.

4.3.4. Nivel de educación del usuario. Según el informe de Desarrollo Humano del 2011 realizado por el Programa de las Naciones Unidas por el Desarrollo (PNUD), en Colombia las tres cuartas partes de los municipios del país son predominantemente rurales (75%), allí viven el 31,6% de la población y sus jurisdicciones ocupan el 94,4% del territorio nacional (Ministerio de Cultura de Colombia (MinCultura), s.f).

Una de las principales problemáticas de un país rural como Colombia, es la deficiencia de programas educativos, con una tasa de cobertura de 30% comparada con el área urbana que es de un 65% (Ministerio de Educación de Colombia (MinEducación), 2001). Es importante agregar que los problemas educativos en el área rural no son solo de cobertura sino también de la calidad y pertinencia de este, siendo factores fundamentales para que la educación genere productividad, mayores ingresos y una gran competitividad (DNP, 2015). Según el Censo Nacional Agropecuario de 2014 sobre el analfabetismo en la población de 15 años o más, es de 11,5% y aún más alarmante con un porcentaje de 17,4% de la población que se encuentra en las unidades productivas (DNP,2015).

Los esfuerzos por lograr la universalización de la educación básica en Colombia son grandes, pero el reto es aún mayor cuando se hace referencia a la educación secundaria y media, o a la educación técnica y superior, donde en zonas rurales, solo el 5,1% de la población de 17 años o más, tiene títulos de educación técnica o profesional (DNP,2015). Los estudios sugieren que en el área rural las personas mayores de 15 años salen del sistema de educación formal, tan solo contando con algunos grados de la educación básica (Pérez y Pérez, 2002).

Debido al bajo alcance de la educación en las áreas rurales y la gran demanda laboral se ha determinado una simplicidad en el desarrollo de la herramienta, es decir, se debe implementar un lenguaje de uso básico que se encuentre al alcance de los agricultores, así como disminuir el uso de gráficos, formas y funciones o pasos complejos de comprender a primera instancia y a su vez, adaptar el diagrama de uso de la herramienta con el modelo mental del usuario, mediante la aplicación de colores y/o formas no complejas para facilitar su entendimiento.

5. Metodología

El proyecto se desarrolló en cinco (5) fases basadas en el usuario, donde cada una de estas se formuló con el fin de generar cumplimiento a los objetivos planteados (Figura 8).

5.1. Fase exploratoria

Se buscó encontrar los antecedentes del problema y definir el estado actual del mismo, permitiendo encontrar material y fundamentos pertinentes para el desarrollo.

5.2. Fase de definición

Buscó delimitar el campo de acción del proyecto y definir requerimientos de diseño.

5.3. Fase creativa.

Se realizó la generación de alternativas enfocada a el cumplimiento de los requerimientos.

5.4. Fase de ingeniería de producto

Permitió definir formalmente al dispositivo y demás elementos presentes en el mismo, de igual forma se buscó dar especificaciones técnicas.

5.5. Fase verificación y validación

Se validó el prototipo de forma real y/o mediante simulación.

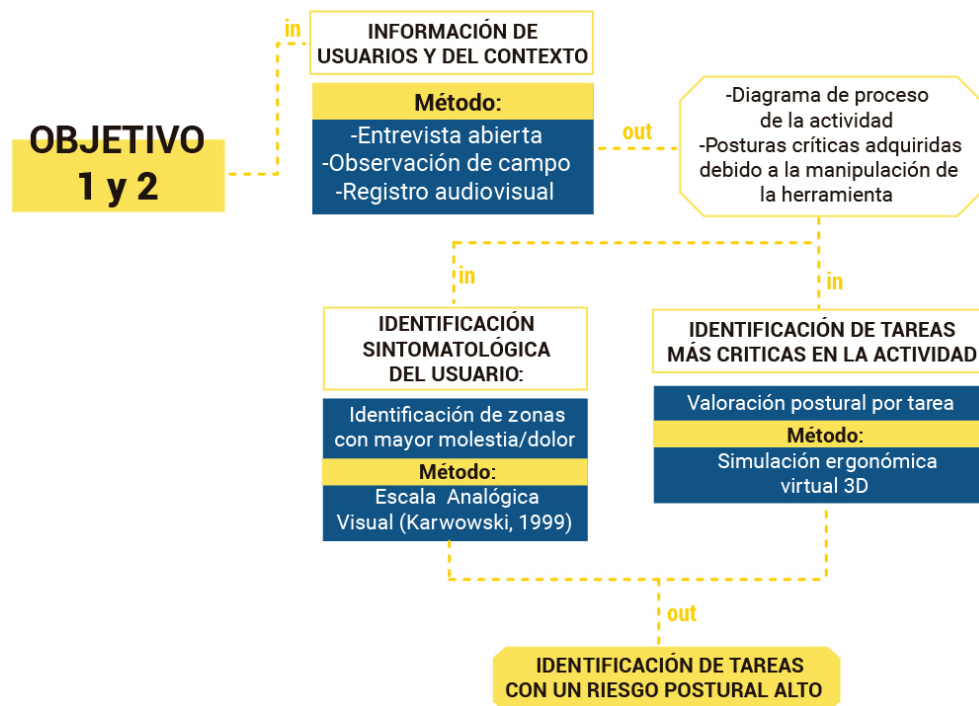


6. Diagnóstico de la Actividad Actual

El presente capítulo se dividirá en dos (2) etapas, la primera (Apartado 6.1) documenta el cumplimiento de los primeros dos objetivos específicos planteados y la segunda etapa (Apartado 6.2) el cumplimiento del tercer objetivo específico, donde se detallará al inicio de cada una el diagrama de tareas o métodos y resultados obtenidos para el cumplimiento de cada uno.

6.1. Diagnóstico general de la actividad de labranza en términos posturales

Esta primera etapa documenta el cumplimiento del primer y segundo objetivo específico (ver ítem 3.1), los cuales se desarrollaron en paralelo, debido a la similitud en sus tareas y métodos usados (Figura 9).



6.1.1. Información de usuarios y del contexto. Para el diagnóstico se realizaron visitas a tres puntos de Santander (Lebrija, Piedecuesta y Curtí), con el fin de indagar y comprender la manera en que se ejecuta la acción de labranza manual de la tierra para el posterior cultivo de la yuca. En primera instancia, se observó de manera detallada las tareas involucradas en la actividad y las posturas adquiridas en estas, con el fin de crear un diagrama de procesos general de la actividad para identificar los requerimientos de diseño del dispositivo a diseñar. Se decidió realizar las visitas a cultivos de diferentes áreas y sector, debido a que es una actividad que puede ser ejecutada con variantes en herramientas, tiempos y procesos dependiendo de las condiciones del terreno y la tradición de esta.

La primera visita fue realizada el 19 de Julio de 2017 en la vereda La Victoria de Lebrija, a un cultivo de yuca con 10.000 plantas en 3 hectáreas con condiciones de terreno faldudo, es decir, inclinado, pero con terminaciones planas, contando con 3 a 4 personas para la preparación y el cuidado de dicho alimento. La segunda visita fue realizada el 23 de Julio de 2017 en El Pajonal, Piedecuesta a un cultivo de 350 plantas en 500 m² totalmente inclinados que cuenta con 2 personas a cargo. Finalmente, se realizó una tercera visita, en la vereda Zamorano de Curtí, en un cultivo de menor tamaño, con 260 plantas en 450 m² en total distribuidos en pequeños sectores, con variaciones drásticas de terreno, es decir, zonas muy inclinadas y zonas muy planas, el 6 de agosto de 2017.

A partir de las tareas observadas al transcurrir las visitas, se obtuvo que, entre las herramientas usadas, el azadón fue la principal, seguido de la pica, las cuales se encontraban en diversos tamaños de cabezal, longitudes y materiales de mangos, como madera y metal, además de variantes de ángulos entre las dos partes. Estas herramientas son usadas a manera de palanca, realizando movimientos verticales aplicando fuerza para tareas como romper y remover el terreno. Con

relación a las posturas asumidas durante dichas tareas, se observaron posturas incómodas, con inclinación de espalda y cuello, dependiendo de la inclinación del terreno. Otra herramienta usada es la barreta, la cual es exclusiva para hoyar la tierra en el momento antes de sembrar.

En cuanto a los dolores o incomodidades presentadas durante y después de la realización de la actividad, los trabajadores manifestaron molestias en espalda baja y hombros, clasificando la actividad de preparación de la tierra como exhaustiva, debido al tiempo y esfuerzo requerido.

Asimismo, se identificaron cuatro (4) tareas dentro de la actividad de labranza manual para el posterior cultivo de la yuca (descritas en detalle a continuación), empezando con la limpieza del terreno, remoción de la tierra, realización de surcos y finalmente hoyar, donde la remoción cuenta con subtareas (romper terrones – aporcar).

6.1.1.1. Descripción de tareas en la labranza manual de la tierra. A continuación, se muestra en paralelo para cada una de estas tareas, la postura crítica adoptada por el trabajador analizando la relación usuario– herramienta en el contexto específico de uso. Cabe resaltar que en las visitas realizadas se encontraban terrenos planos (0 a 4°), inclinados (14° a 22°) y muy inclinados (30° a



37°) donde la postura adquirida variaba principalmente en términos de flexión y torsión de espalda con apertura de piernas para mantener equilibrio y el acercamiento al plano de trabajo.

Limpieza del terreno: La primera tarea, consiste en limpiar superficialmente la tierra (3 a 5 cm de profundidad) con el fin de retirar algún elemento inadecuado para la siembra, como las malezas. En esta tarea, la importancia radica en cortarlas de raíz, ya que puede quitarle propiedades a la planta a sembrar, haciendo que esta no germine de forma ideal. Aun así, una vez cortadas, el residuo del material vegetal puede ser usado como abono.

Este proceso se realiza con la parte lateral del azadón como se muestra en la figura 10, debido a que abarca mayor área, ya que esta sección posee una mayor longitud y así se agiliza el proceso. El operario requiere realizar movimientos lineales (atrás-adelante) para despejar la zona, asemejándose a la tarea de barrer. En esta tarea, el trabajador no requiere de la aplicación de gran cantidad de fuerza y los residuos son dejados alrededor de la zona a sembrar con el fin de usarlos como soporte a medida que crece la planta. El tiempo de esta tarea depende de la cantidad de maleza y residuos en la zona a plantar.

La postura más crítica durante la actividad, como lo observamos en la figura 11, es cuando el trabajador adopta una postura con inclinación y torsión de espalda, sujetando la herramienta con la mano dominante adelante y la mano no dominante como estribo para realizar los giros, apoyándose en una pierna flexionándola a modo de soporte. Para la postura A1 en terreno plano, presenta una mayor flexión en espalda y piernas que en la postura A2 en terreno inclinado, debido la distancia entre el sujeto y el plano de acción.



Remoción de la tierra: El proceso de remoción de tierra consiste en eliminar lo sobrante del cultivo anterior con el uso del azadón realizando movimientos verticales (Arriba-Abajo) aplicando fuerza para penetrar la tierra. Esta tarea también es realizada con la pica (Figura 12), dependiendo de la densidad y humedad del terreno a trabajar, ya que al tener una cuchilla más angosta rompe con mayor facilidad del suelo. Este proceso es realizado para airear la tierra y, además, dejarla suelta para que las raíces de la planta crezcan sin problema, sacando las capas inferiores de la tierra a la superficie a una profundidad aproximadamente de 10 a 20 cm.



El operario al requerir aplicación de fuerza mantiene una apertura de piernas para generar estabilidad y precisión, flexiona la espalda al momento de impactar (el ángulo depende de la inclinación del terreno) y utiliza la herramienta como palanca para levantar la tierra. Al momento de levantar la herramienta tiene una apertura de manos sobre el mango y al realizar el movimiento hacia abajo, esa apertura se reduce considerablemente (Figura 12).

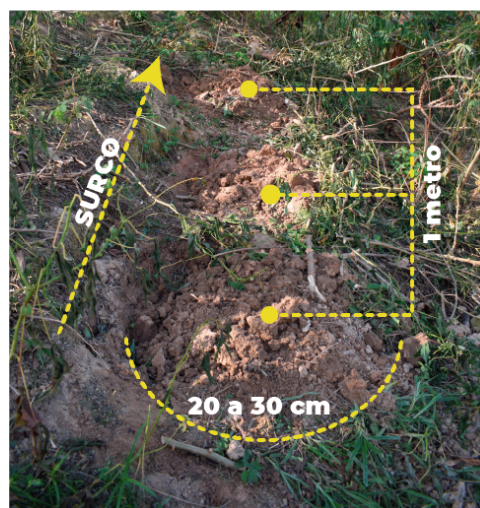
Romper terrones: Esta tarea hace parte del proceso de remoción de la tierra y consiste destruir los terrones que no se descompactaron de forma más precisa, para esto el trabajador gira el azadón 180° (Figura 13) con el fin de golpear la tierra con la parte posterior de este, donde está el mango y así destruir los trozos de tierra grandes. El trabajador requiere de precisión al dar pequeños golpes a los terrones, por lo tanto, adopta una postura con apertura de piernas, como apoyo y con flexión de espalda para poder visualizar su campo de acción. Con ayuda de la mano no dominante realiza los giros de la herramienta. Es pertinente resaltar que esta tarea se realiza a medida que vayan apareciendo los terrones, es decir se realiza en paralelo con la remoción de la tierra.



Aporcado: Aporcar es una labor que consiste en amontonar la tierra formando un pequeño montículo (Figura 14) para evitar que la semilla se resbale al caer las lluvias. El aporcado también es realizado aproximadamente a los dos meses de crecimiento de la planta para ayudar a dar soporte con la tierra ubicada a su alrededor en las primeras etapas de crecimiento de estas.



Realización del surco: La realización del surco es muy importante para un cultivo, debido a que ayuda al correcto drenaje del agua lluvia. Este es realizado dependiendo de las características del terreno y el cultivo, por ejemplo, en terrenos inclinados, se realiza surcos en terrazas. En el caso del cultivo de la yuca se realizan con una distancia entre sí de 1m aproximadamente, para el correcto crecimiento de las raíces de la planta de la yuca (Figura 15). El surco es el resultado de la remoción de la tierra, aquí se acumula la tierra descompactada buscando hacerle un camellón a la



semilla y es realizado de manera ordenada siguiendo una línea, si el terreno y demás cultivos lo permiten.

Para la realización de los surcos el trabajador adopta una postura y movimientos repetitivos iguales a los de la tarea de remoción de la tierra anteriormente mencionada, por lo tanto, la postura crítica identificada es la misma para las dos tareas (remover – surcar) dentro de la actividad de labranza.

En las posturas identificadas (Figura 16), se observa tanto en la posición B1 como B2 una flexión y torsión del tronco, con las piernas ligeramente flexionadas y los pies con un ángulo de apertura hacia afuera del eje central del cuerpo. Para las dos tareas se requiere el levantamiento de la herramienta, forzando a realizar una elevación de brazos por encima de la cabeza para generar impulso al momento de impactar la tierra, por lo tanto, el peso y la fuerza ejercida por el trabajador hacen de estas posturas las más críticas.



Hoyar el terreno: Finalmente, se encuentra la labor de hoyar el terreno para su posterior siembra. Consiste en realizar un hoyo en la tierra para ubicar de una forma específica la semilla de la yuca. Es realizada con dos herramientas diferentes, por un lado, la barreta, el cual es una barra de metal con una punta que penetra la tierra. Con esta herramienta el usuario realiza movimientos diagonales sosteniéndola con la mano dominante necesitando acercarse al plano de trabajo debido a la corta longitud de esta, adoptando una postura con inclinación de espalda excesiva y apertura de piernas para obtener mayor precisión (Figura 17). Esta labor también es realizada con la pica, el uso depende exclusivamente a la tradición y gustos del trabajador. Igualmente, algunos trabajadores ejecutan la tarea sin herramienta, usando los dedos realizando el hoyo para la siembra, esta última es la más usada por los cultivadores.



En cuanto a las posiciones más críticas adoptadas para hoyar (Figura 18), se observa que, en ambas inclinaciones de terreno, el trabajador requiere flexionarse bastante para ubicar la semilla en la tierra. En la Posición C1, se identifica además de la flexión del tronco, la apertura de las piernas es mayor que en la posición C2, disminuyendo la flexión de las piernas y generando mayor equilibrio.



Conclusiones del proceso de preparación de la tierra para el cultivo de yuca:



En la figura 19 se observa el diagrama de procesos generado a partir de la observación y trabajo de campo, en donde a lo largo de la ejecución de la actividad de labranza, se identificaron posturas no neutrales, es decir, que las articulaciones no comprenden ángulos de confort para evitar riesgos

de fatiga y DME. En estas posturas críticas se incluyen el forzado movimiento de flexión y torsión de la espalda, además, flexión, adducción y rotación interna del hombro/brazo y desviaciones de la muñeca al manipular la herramienta y ejecutar la actividad.

La flexión de la columna es el movimiento más amplio de la región lumbar (L1/L5) y es el que produce un mayor daño potencial al disco intervertebral (García, s.f.). En la flexión del cuerpo hacia delante solamente los primeros 40°- 60° son debidos al movimiento de la columna mientras la pelvis permanece bloqueada por los músculos glúteos. El resto de la flexión se realiza a nivel de la articulación de la cadera (Miralles, 2001).

Emilio García (s.f.) afirma que la postura en la cual permanece un trabajador resulta muy importante para el funcionamiento y la aparición o no de una precoz degeneración de la columna. Aquellos que, realizando la flexión de la columna al mismo tiempo que levanta un peso, aunque éste sea ligero, presentan una degeneración precoz del disco. Esto sucede durante la ejecución de la tarea de labranza manual, donde a partir del diagnóstico anterior se evidenció que la flexión de la zona lumbar predomina en todas las tareas, adicionándole el peso de la herramienta de aproximadamente 4 Kg y requiriendo la aplicación de fuerza para la penetración de esta en el suelo. En posturas como la C1 y C2, esta se adopta de manera excesiva. Además de esto se adiciona la torsión del tronco, que se encuentra presente en todas las tareas, esto hace que haya aun mayor tensión en los discos vertebrales.

Por otro lado, el hombro/brazo se considera la articulación más móvil del cuerpo humano, pero también la más inestable (Suárez y Osorio, 2013). Se observa que, para el manejo de la herramienta con las dos manos, el trabajador debe adoptar una rotación interna de su hombro/brazo, para ubicarla en el plano central de su cuerpo. Además, la aducción y flexión de estos para realizar

movimientos repetitivos de arriba abajo está presente en las tareas de remoción de la tierra y realización de surcos, como se evidencia en las posiciones B1 y B2.

Finalmente, se identificaron desviaciones en la muñeca al momento de manipular la herramienta, los cuales varían en función del movimiento repetitivo dependiendo de la tarea. Por ejemplo, cuando el usuario se encuentra en las posiciones como la A1 y A2, vemos que su mano no dominante al extremo de la herramienta presenta una desviación ulnar pronunciada al momento de realizar el movimiento hacia delante de la actividad de limpiar malezas, pero al llevar atrás la herramienta esa desviación varía a una desviación radial, por lo tanto, se pudo inferir que el trabajador constantemente está variando de posturas de muñeca y mano a medida que ejecuta la actividad. Estos movimientos repetitivos del miembro superior y esfuerzos manuales intensivos pueden producir el Síndrome del Túnel Carpiano (STC). Las principales causas del STC de origen laboral son el uso de herramientas inadecuadas, técnicas de trabajo deficientes y tareas manuales repetitivas con utilización de fuerza (Roel, Arizo y Ronda, 2006).

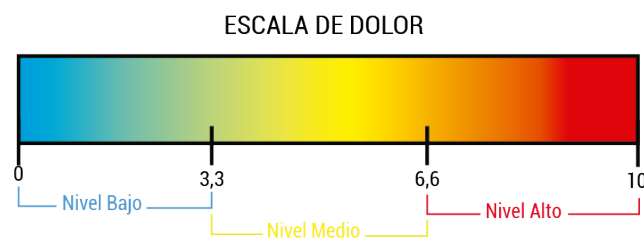
Sumado a lo anterior, se identifica un apoyo asimétrico en las posturas críticas identificadas, posiblemente producido por las inclinaciones del terreno, lo cual afecta la curvatura lumbar que es rectilínea en el plano frontal y mantiene el eje de gravedad del tronco. En este apoyo, el peso corporal descansa fundamentalmente sobre una pierna. Donde la columna lumbar crea escoliosis estática cuando al levantarse la cadera donde se genera el apoyo monopodal, presenta la concavidad hacia el lado que no se encuentra la carga. (García, s.f.).

A partir del diagnóstico en términos posturales, se evidencia la ausencia de posturas neutras a lo largo de la ejecución de la actividad y la abundancia de posturas forzadas que posibilitan la aparición de enfermedades derivadas de estas.

6.1.2. Identificación sintomatológica del usuario. Durante las visitas se realizó una encuesta a 33 trabajadores hombres diestros del campo de la agricultura con un rango de edad entre 20 y 50 años, donde dichos usuarios realizaban la actividad de labranza de la tierra, las preguntas realizadas referían a la presencia de incomodidades o malestares en alguna parte de su cuerpo, con el fin de identificar las zonas específicas donde esta actividad afecta la salud del trabajador con la aparición de DME. Se tuvo en cuenta la presencia de alguna lesión o accidente durante el último año como criterio de exclusión.

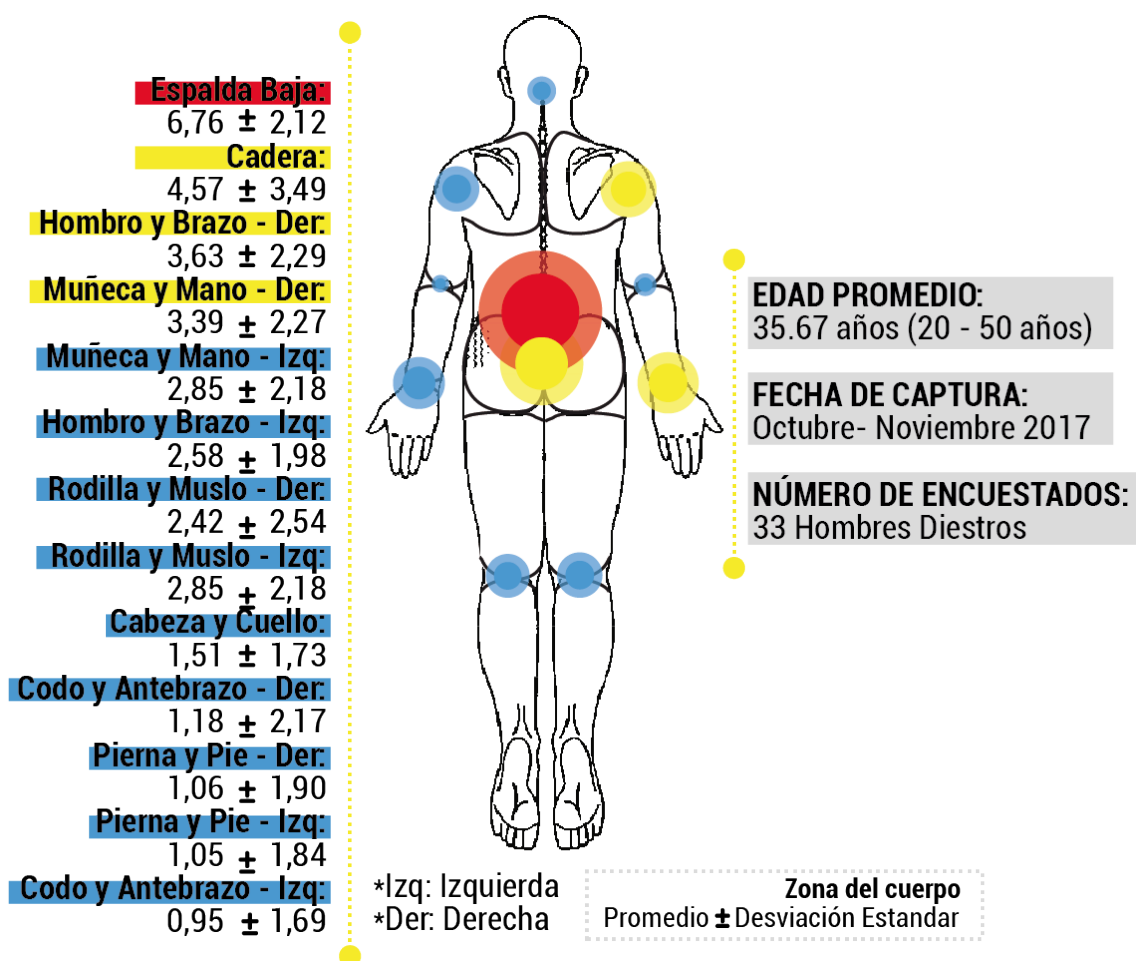
Por consiguiente, se usó una escala analógica visual (Karwowski, 1999), la cual consiste en una línea de 100 mm de longitud, con etiquetas en cada extremo de “Ninguna Incomodidad” e “Incomodidad Extrema”. Gracias a esta escala se determinó el grado de intensidad del dolor, y por medio de una adaptación de Corlett y Bishop se identificó el área del cuerpo en donde se manifestaba la molestia. Esta última es medida cuando el trabajador coloca una marca en la línea (Apéndice A) para indicar la intensidad en una zona del cuerpo determinada.

6.1.2.1. Resultados de la escala visual analógica de incomodidad. Para el análisis de los resultados se decide categorizar los valores de la escala en intervalos iguales (figura 20).



En la figura 21 se observa la relación entre las zonas del cuerpo y las molestias promedio identificadas por los 33 campesinos que realizaron el auto-reporte.

Según la CNSST (2008) las enfermedades profesionales más frecuentes en los agricultores son las osteomusculares, donde los dolores de espalda y lumbares están asociados principalmente con el trabajo físico y la torsión propia de las posturas adoptadas al realizar la actividad. Como se puede observar en la figura 21, con distintivo rojo y amarillo se resaltan las partes del cuerpo como: la espalda baja, la cadera, hombros y brazos derechos con dolor alto y medio, siendo estas zonas propias de las enfermedades frecuentes presentes en el sector agrícola.



La espalda baja es la zona donde los usuarios presentan mayor intensidad de incomodidad con un promedio de 6,76, seguido por la cadera con un promedio de 4,57 y el hombro y brazo derecho (mano dominante) con un valor de 3,39. De igual forma la figura 21 permite distinguir que la

actividad de labranza genera molestias en un gran porcentaje del cuerpo humano, especialmente en las articulaciones de los usuarios.

Asimismo, cuando se realizaba la encuesta, el usuario indicó que los dolores venían adicionalmente con molestias generales del cuerpo y cansancio físico, teniendo en cuenta que la actividad demanda largas jornadas de trabajo en altas temperaturas generando DME.

6.1.2.2. Identificación de las tareas más críticas en la labranza manual. A partir de los registros audiovisuales realizados en las visitas, de cada una de las tareas se seleccionaron las posturas más críticas adoptadas por el trabajador (Figura 11, 16 y 18) en función de la inclinación del terreno, para una medición de los rangos articulares con ayuda del software Kinovea. Se identificaron tres (3) posturas críticas para terreno plano: Limpiar=**A1**, Remover / Surcar=**B1** y Hoyar=**C1**. Para terreno inclinado: : Limpiar =**A2**, Remover / Surcar =**B2** y Hoyar=**C2**, para un total de 6 posturas.

Para esto, se realizaron dos videos por actividad, donde el usuario se encontraba paralelo al eje de la toma y otro de su vista frontal. A partir de lo anterior, se realizó la medición de ángulos de cuello, espalda, codos, hombros y piernas (Figura 22) y se obtuvo un promedio representativo por cada articulación.

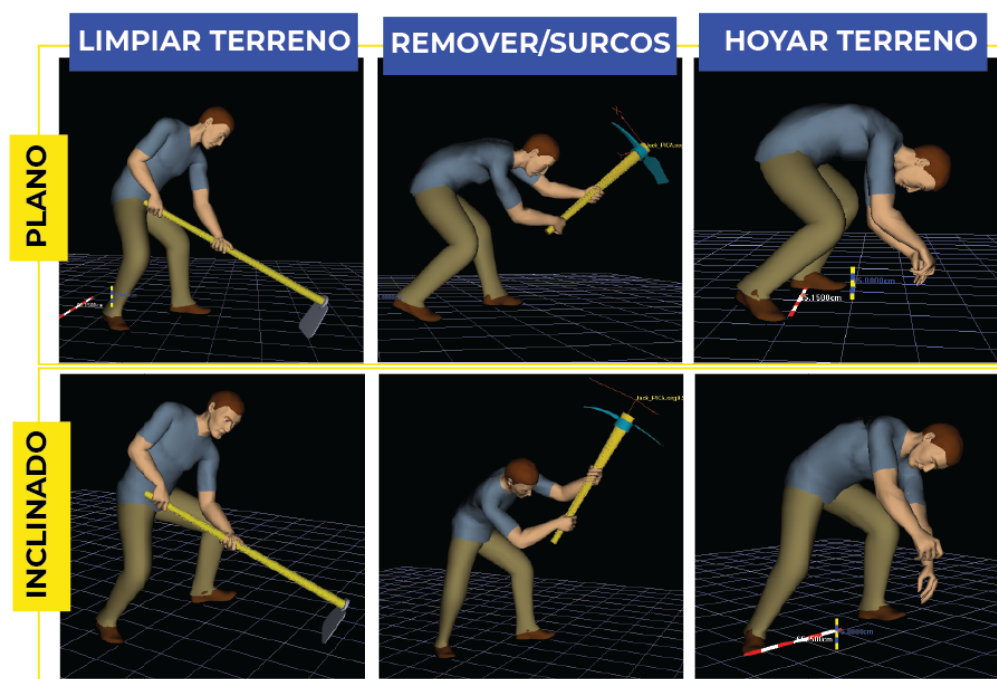


Los datos anteriores fueron medidos con el fin de realizar un acercamiento más detallado y generar un modelo digital humano en el software de simulación JACK–Siemens, que se muestra a continuación (Tecnomatix, 2011).

6.1.2.3. Análisis estático a partir de un modelo biomecánico por simulación digital humana con el Software Jack – Siemens. Para el análisis con los modelos humanos digitales se usaron las medidas antropométricas de 72 campesinos cultivadores de mora en el municipio de Piedecuesta (los datos fueron tomados en el año 2015). La altura promedio es de 167 cm, con un peso promedio de 68 Kg y una edad promedio de 39.3 años (Apéndice B) (Maradei, Ardila y Sanabria, 2016).

Para cada una de las seis (6) posturas críticas escogidas, se realizó en el Software JACK (Figura 23) un análisis postural por medio de la herramienta OWAS, donde se asigna un puntaje para la espalda, brazos y piernas, según la carga. Estos puntajes se presentan en un cuadro con un nivel de medida (1 a 4) correctiva según la combinación entre los cuatro factores principales. También, se realiza un análisis lumbar, el cual expone la presión intradiscal que es la respuesta parcial a las fuerzas de compresión que inciden sobre el disco intervertebral, específicamente en las vértebras L4-L5, que son las dos más bajas de la columna lumbar. Este mismo análisis, dio a conocer la tensión de los músculos en newtons. Además de esto, fue pertinente la toma del tiempo que tarda el trabajador en ejecutar cada tarea para realizar una comparación en función de los datos anteriormente mencionados, para esto se calculó un promedio de las tres visitas realizadas.

La figura 24, muestra el análisis en las tareas de terreno plano. El apéndice C contiene más

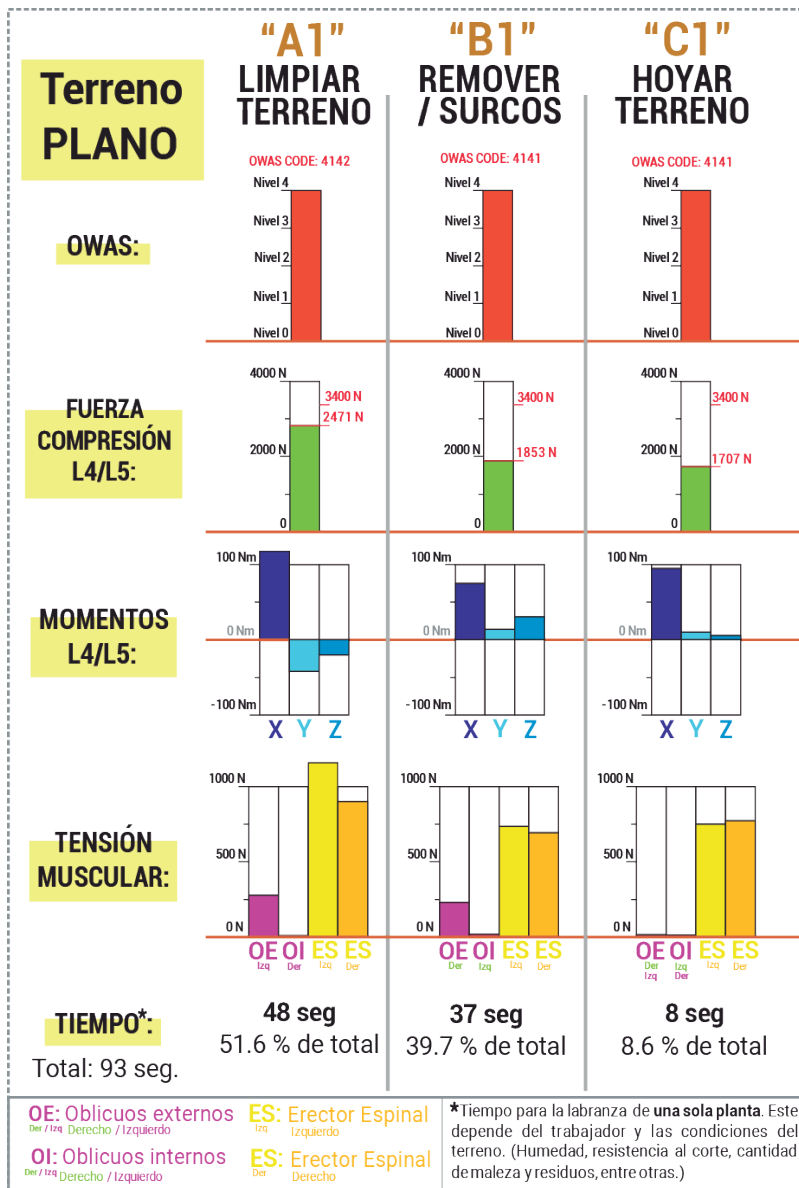


información detallada sobre el estudio. Se evidencia que la carga postural tiene el nivel de riesgo

más alto, nivel 4, para todas las tareas, sugiriendo tomar acciones correctivas inmediatas, lo que demuestra el esfuerzo y fatiga que maneja un trabajador durante esta actividad.

Estas tareas obtuvieron una puntuación de compresión en la espalda baja (L4/L5) en un rango de 1707 N a 2471 N, donde la posición A1 alcanzó el mayor puntaje y C1 el menor, lo cual indican que están por debajo de la escala de NIOSH cuyo límite es 3400 N para la compresión intradiscal.

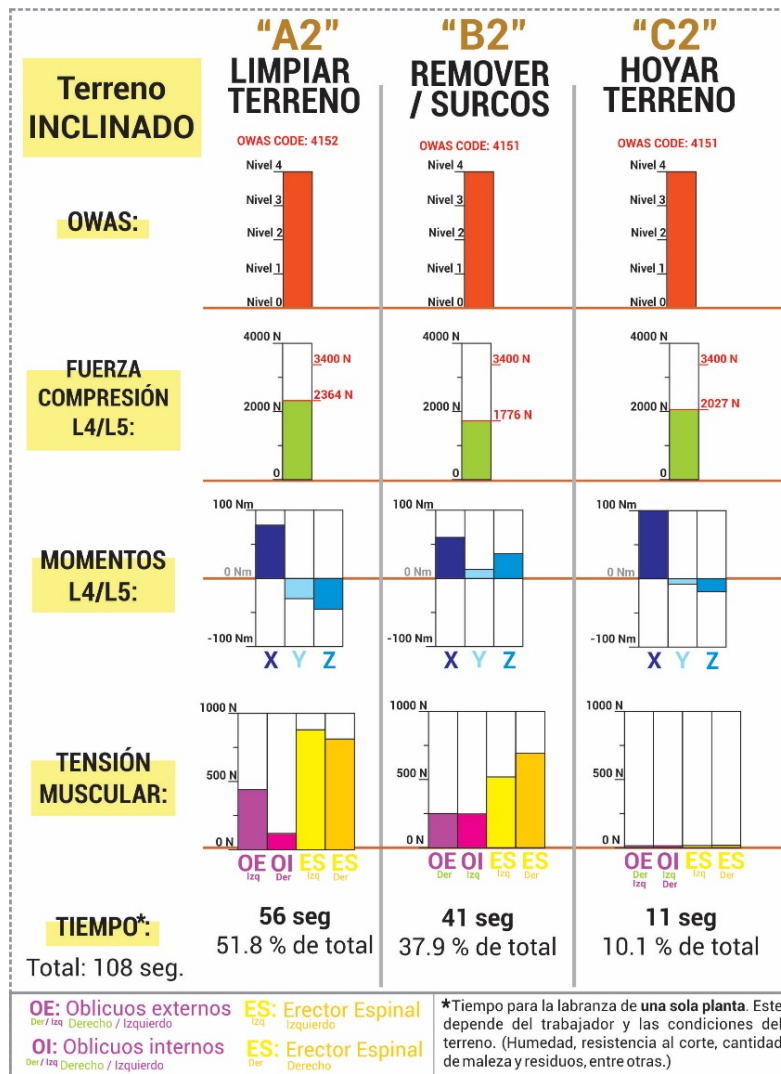
Los momentos internos generados oscilan entre 110 N y -45 N, donde la posición B1 y C1 presenta



solamente momentos positivos. Para este tipo de terreno, en las tres posiciones hay una actividad de tensión muscular alta (745 N a 1050 N) para los erectores espinales derecho e izquierdo.

La tarea de la posición A1 es la que más tiempo comprende del total de la actividad, un 51,6% y es la que mayores niveles de compresión, momentos y tensión muscular posee, seguida de la tarea de la posición B1, con un 39,7% del tiempo total de la actividad. Por lo tanto, para terreno plano, las convierte en las posturas más penosas de toda la actividad de labranza.

Para las tareas en terreno inclinado (Apéndice D), los resultados están ilustrados en la figura 25, en la cual se mantiene el resultado de la evaluación de carga postural por el método OWAS,



donde se muestran los efectos sumamente dañinos sobre el sistema musculoesquelético de las tres posturas, mostrando un nivel 4, con intervención inmediata, igual que en terreno inclinado.

Se obtuvo una puntuación de compresión de la espalda baja (L4/L5) en un rango de 1776 N a 2364 N, donde se conserva la postura A2 de la misma tarea con el mayor puntaje igual que en la figura 24 (terreo plano), y C2 con el menor, manteniéndose por debajo de la escala de NIOSH cuyo límite es 3400 N para la compresión intradiscal. Los momentos internos generados oscilan entre 100 N y -50 N, donde la posición B2 solo presenta momentos positivos, y es la que menor rango de actividad posee. En cuanto la tensión muscular, la posición C2 no posee ninguna actividad, mientras que la A2 y C2 presentan gran tensión en los músculos erectores espinal tanto izquierdo como derecho, oscilando entre 500 N y 875N.

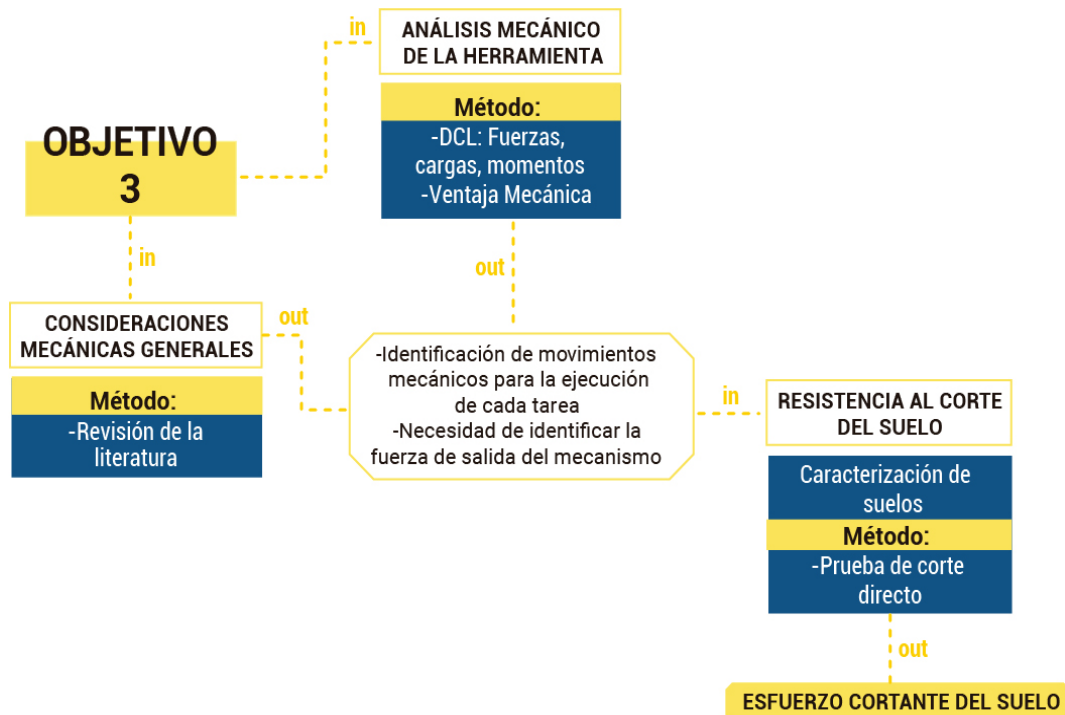
El tiempo de ejecución de cada tarea, en función de los resultados obtenidos, determina que, para terreno inclinado, la posición A2 es más penosa, ya que sus resultados fueron los más altos y el tiempo de ejecución mayor, abarcando el 51,8 % del tiempo total de la actividad, seguido de la posición B2, el cual abarca el 37,9 % del tiempo total y los resultados arrojados se la ubican como la segunda tarea más penosa.

Para ambos tipos de terreno, plano e inclinado, las posturas de la actividad de limpieza de maleza (A1 y A2) presentan mayores niveles de riesgo y mayor tiempo, seguido de las posturas de remoción de tierra y realización de surcos (B1 y B2). Aun así, las posturas de la tarea de hoyar el terreno (C1 y C2) presentan niveles de riesgo posturales, pero por el tiempo de ejecución poco frecuente, no se hace pertinente la inclusión de esta tarea en el dispositivo a diseñar.

6.2. Diagnóstico general de la actividad de labranza en términos mecánicos

La segunda etapa documenta el cumplimiento del tercer objetivo específico: *3. Identificar los factores mecánicos de transmisión de fuerza y ventaja mecánica*, en donde se evidencia en la figura

26, el diagrama de tareas(in) y resultados (out) para el estudio de componentes asociados a fuerzas y factores mecánicos necesarios para el diseño del dispositivo para la labranza manual.



Como parte del desarrollo del proyecto se realizó un estudio de las consideraciones mecánicas generales registrado en el apéndice F, como punto de partida para la ejecución de los siguientes apartados.

6.2.1. Análisis mecánico de la herramienta. Para este apartado se analizó la pica, debido a que es usada cuando el terreno es muy duro de penetrar, lo cual se traduce en la necesidad de aplicación de mayor fuerza. Aun así, los criterios identificados servirán para entender el azadón ya que manejan principios similares de uso, su diferencia radica en el ancho de la cuchilla.

En este análisis se selecciona la postura más crítica durante la actividad, además, la que involucra mayor tiempo de ejecución, por este motivo se seleccionó la postura adquirida durante la limpieza en terreno plano (Postura A1) (Figura 11), basándonos en el análisis estático realizado

a partir de un modelo biomecánico por simulación digital humana con el Software Jack – Siemens del apartado 6.1.2.3.

En primera instancia, se analizó la tarea de manera general identificando tres momentos relevantes (Figura 27). El momento 1, en el que la herramienta impacta la tierra, el momento 2 cuando el usuario levanta la tierra con la cuchilla y finalmente, el momento 3, en el que el usuario levanta la herramienta para volver a comenzar la tarea.



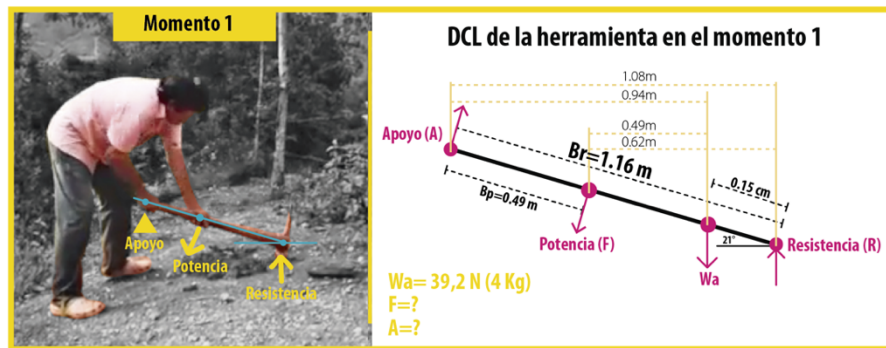
Mediante este análisis y la observación directa de la totalidad de la actividad, se puede determinar que la herramienta funciona como una palanca, es decir, vence una fuerza de resistencia mediante la aplicación de cierta potencia a través de una barra. Por lo tanto, se pueden identificar tres elementos, el fulcro, que es el punto de apoyo, la potencia, la cual es la fuerza aplicada por el usuario y la resistencia, que es la fuerza por vencer, es decir, ya sea penetrar el suelo o vencer el peso de la herramienta, dependiendo del momento.

Dependiendo de donde están ubicados estos elementos, se puede decir que la herramienta es una palanca de un tipo u otra (Figura 27), ya que depende de cómo esta sea usada, ya sea palanca de tercer grado para el momento 1 y 3, en donde el apoyo está a un extremo, la potencia en el centro y la resistencia al otro extremo, diferenciándolos en que en el momento 1 la resistencia es la fuerza necesaria para romper el suelo mientras que en el momento 3, la fuerza a vencer es el peso de la

herramienta, para levantarla. Para el momento 2, la pica se comporta como una palanca de segundo grado, ya que, una vez la cuchilla de la herramienta estén en el suelo se aplica una fuerza al extremo superior de la herramienta, hacia delante para levantar la tierra.

Ley de la palanca: $F \cdot BP = R \cdot BR$

La ley de la palanca dice que entre mayor sea la distancia BP, es decir, de la potencia F al fulcro (brazo de potencia), menor será el esfuerzo que realizar por el usuario para vencer una determinada resistencia. Para encontrar la ventaja mecánica producida por la herramienta, se calcula la fuerza requerida por el usuario en el momento 1, en el cual es penetrada la tierra, siendo este el momento en el cual el usuario aplica mayor fuerza y tiene una distancia BP menor comparada con los demás momentos.



R= Fuerza de resistencia al corte del suelo

$$\tau_{ao} = 2.8 \text{ Kg/cm}^2 = \frac{R}{A}$$

$$2.8 \text{ Kg/cm}^2 * (2.03 \text{ cm}^2) = F$$

$$R = 5.68 \text{ Kg} \quad \mathbf{R = 55.7 \text{ N}}$$

$A = 20.3 \text{ cm} * 0.1 \text{ cm}$
 $A = 2.03 \text{ cm}^2$

Del DCL de la herramienta

$\sum M_a = 0$ $0 = -(F * 0.49m) - (W_a * 0.94m) + (R * 1.08m)$ <p style="text-align: center;">F = 47,56N</p> $\sum F_x = 0$ $0 = (A * \text{Sen} \theta) - (F * \text{Sen} 21^\circ)$ $A = \frac{F * \text{Sen} 21^\circ}{\text{Sen} \theta}$ <p style="text-align: center;">A = 32.69</p>	$\sum F_y = 0$ $0 = (A * \text{Cos} \theta) - (F * \text{Cos} 21^\circ) - W_a + R$ <p style="font-size: small;">Remplazando A en la sumatoria de fuerzas en Y</p> $\frac{F * \text{Sen} 21^\circ * \text{Cos} \theta}{\text{Sen} \theta} - F * \text{Cos} 21^\circ - W_a + R = 0$ $\frac{F * \text{Sen} 21^\circ * \text{Cos} \theta}{\text{Sen} \theta} - 44.40 - 39.2 * 55.7 = 0$ $F * \text{Sen} 21^\circ = \frac{27.9 * \text{Sen} \theta}{\text{Cos} \theta}$ $\frac{F * \text{Sen} 21^\circ}{27.9} = \text{Tg} \theta$ $31.42^\circ = \theta$
---	---

Como podemos observar en la figura 29, se realizó el cálculo de la potencia requerida por el usuario para romper el suelo para la postura del momento 1. Se requirió conocer la fuerza de resistencia al corte del suelo, el cual se calculó debido al ensayo de corte directo realizado más adelante, explicado en el apartado 6.2.3.2. obteniendo como resultado $R=55.7 \text{ N}$ de resistencia del suelo (Figura 28), para el caso de la herramienta estudiada, en donde fue necesario hallar el área de la cuchilla, dado a que tiene contacto directo con el suelo. Seguido se realizó un diagrama de cuerpo libre para el momento 1, en donde a partir de este se ejecutó una sumatoria de fuerzas hallando el valor de la potencia F. Por último, se calculó la ventaja mecánica del azadón en el momento 1, a partir de los cálculos anteriores.

$$\frac{F_{\text{potencia}}}{F_{\text{resistencia}}} = \text{Ventaja Mecánica (VM)}$$

$$\frac{47.56 \text{ N}}{55.7 \text{ N}} = \text{Ventaja Mecánica (VM)}$$

$$0.85 = \text{VM}$$

Como resultado (Figura 30), se obtuvo una ventaja mecánica inferior a 1, ya que el punto de apoyo es cercano a la potencia. Por lo tanto, se puede concluir que, durante toda la actividad de labranza, el usuario no presenta una multiplicación de la fuerza. Este hallazgo es interesante si se considera que, la pica y el azadón son herramientas usadas con el propósito de mejorar la realización de la actividad, ayudando a generar mayor fuerza de la que es aplicada, teniendo como base las distancias en las que estas son ejercidas. Por tanto, se sugiere que los agricultores no siempre cuentan con una multiplicación en la fuerza, sino que esto depende de la forma de manipulación de la herramienta, y la tarea que requería realizar. Basados en estos resultados y conclusiones, se espera que el dispositivo además de mejorar las posturas adquiridas para la realización de la

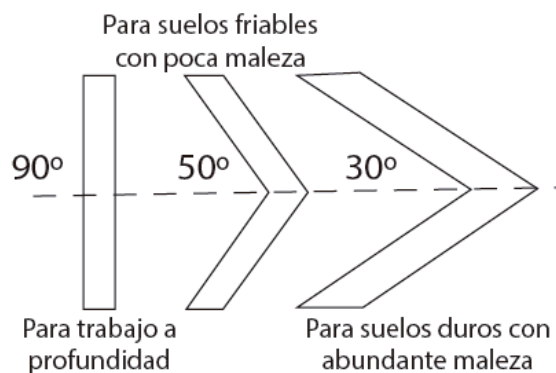
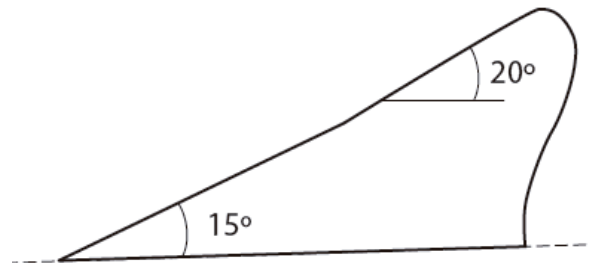
actividad mantenga o mejore las características mecánicas, como la ventaja mecánica y transmisión de fuerza.

6.2.2. Consideraciones estructurales de los elementos de corte y remoción de la tierra. El corte y la remoción de la tierra implica ciertas operaciones, en primera instancia se debe realizar un corte horizontal para la eliminación de maleza seguido de cortes en dirección vertical y horizontal para preparar el suelo y un corte para permitir la siembra:

- **Corte de maleza:** El diseño de la herramienta está ligado al tipo de maleza que se encuentra en el área, esta se puede clasificar en tres grupos, el primero de ellos es para aquellas malezas que tiene una profundidad de sus raíces menor a 30 cm es decir son superficiales, en un segundo grupo se catalogan aquellas malezas que presentan raíces con una profundidad mayor a 30 cm y en un tercer grupo están aquellas que son perennes es decir que presentan unas raíces continuas (Ashbumer y Sims,1984). Durante el análisis de la actividad (*Apartado 6.1.1.1. Descripción de tareas en la labranza manual de la tierra*) se determinó que los usuarios realizan la remoción y volteo de la tierra a una profundidad no mayor de 15 cm, por ende, el diseño de la herramienta pertinente para el caso de estudio es el perteneciente al grupo uno: malezas con raíces superficiales con una longitud menor a 30cm.

Según Ashbumer y Sims la figura 31, corresponde al diseño de la herramienta que mejor realiza el corte de malezas superficiales y un levantamiento de las mismas, no obstante, una herramienta con un ángulo de 90° (Figura 32) en su perfil realizará el corte más preciso. Sin embargo, este diseño dificulta la perforación en la superficie debido al ángulo recto, a diferencia de los diseños de las herramientas con ángulos menores a 30° que, si realizan la perforación, pero no ejecuta la acción de cortar malezas. Aquellos ángulos que mejor realizan la actividad son los que se

encuentran en un rango de 30° a 50° , dichos valores cercanos a 50° son usados para suelos friables, los cercanos a 30° son para suelos más duros o cementados ya que presentan una difícil penetración.

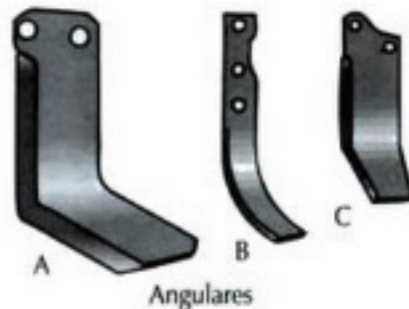


En la figura 32 observamos el ángulo especificado según el tipo de tierra para el cual está diseñado, donde se indica la inclinación del perfil para el cual es ideal y realizará de una forma correcta la actividad, como se indica en la parte superior y se ilustra en la figura 33 aquellas cuchillas con un ángulo entre 90° a 10° con las tipo A siendo estas las más representativas en el mercado, puesto que son fiables para realizar la actividad tanto en tierras ya labradas, como en tierras que no lo han sido, aquellas tipo B son usadas en terrenos ya arados y destruyen los terrones que quedan en la superficie, la tipo C se recomiendan para suelos planos,

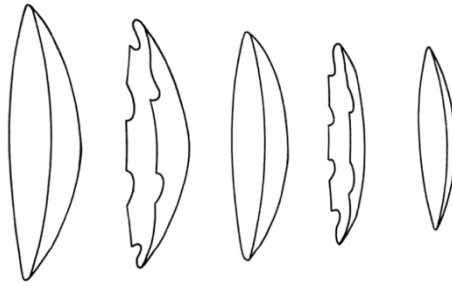
Figura 31. Diseño de herram

este tipo de cuchillas son conocidas por ser rígidas a diferencia de aquellas flexibles que además de realizar la función, generan una vibración durante la actividad pulverizando aquellos terrones grandes (Alvarado, 2004).

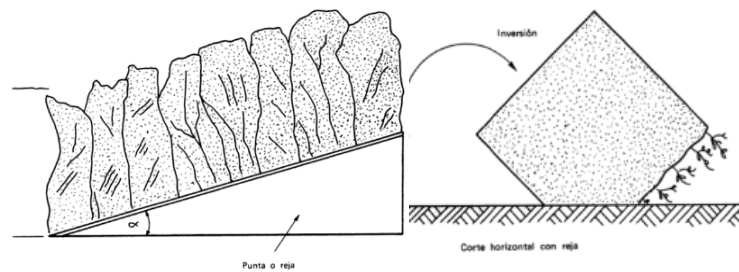
-Desintegración e inversión del suelo: Por otro lado, se encuentran diseños ya establecidos de aquellas herramientas que realizan la desintegración del suelo, donde se identifica que aquellas herramientas que tienen dientes con ángulo de ataque menor a 45° realizan con una fuerza de arrastre mínima el levantamiento de los terrones llevándolos hacia la superficie y permitiendo la desintegración, a diferencia de aquellos que presentan una inclinación hacia atrás. Sin embargo, la angulación de los cuerpos y la forma del disco puede variar la fuerza con la que se realiza la acción y la distancia de la penetración de la misma, para este tipo de actividades se ve influenciado el peso de la misma herramienta ya que varía según la dureza del suelo (Ashbumer y Sims, 1984).



Para generar una mezcla de forma ideal según Ashbumer y Sims es importante que los ejes de la herramienta sean verticales y los elementos giratorios. En la figura 34 se ilustran las diferentes formas del diseño del disco para realizar la actividad de desintegración del suelo, aquellos que presentan una curvatura con un mayor radio son los que realizan un mayor movimiento al suelo, pero el corte es menos eficiente. Los que presentan ranuras realizan una penetración y cortan la maleza superficial. (Ashbumer y Sims, 1984).



Según Ashbumer y Sims el ángulo de inclinación de la herramienta, es decir α en la figura 35, es aquel que está relacionado con el grado de desintegración del suelo, debido a que estos influyen en el corte horizontal del prisma en el suelo; para lograr una inversión completa del mismo es necesario realizar un corte con forma de prisma y manipularlo de tal forma que este quede sobre la superficie de la herramienta y así poder generar el volcamiento del suelo.



6.2.3. Resistencia al corte del suelo.

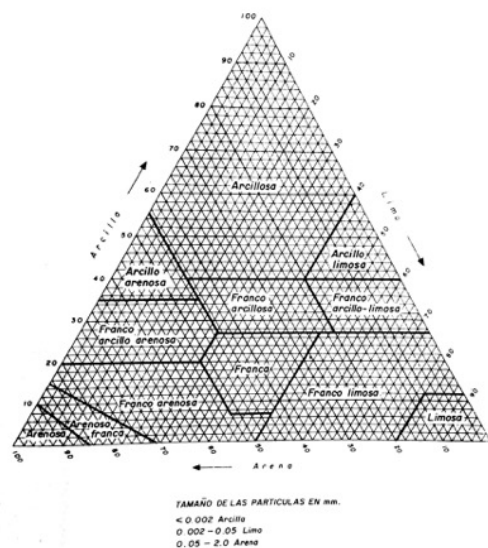
6.2.3.1. Diagnóstico de suelos para el cultivo de la yuca en Santander. Un factor determinante para plantear requerimientos de diseño del dispositivo para la labranza manual de la tierra es

Figura 34. Diseño de diente

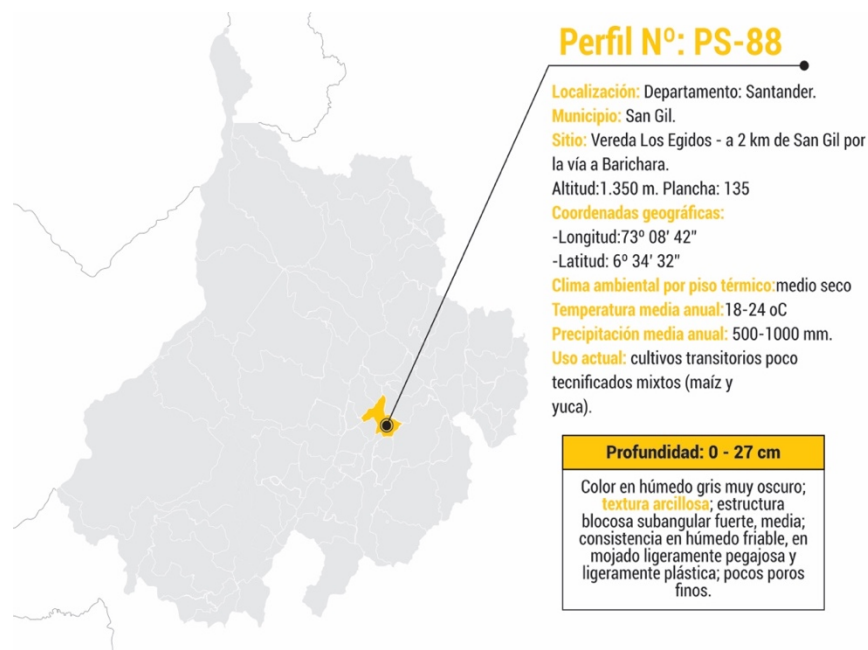
conocer a fondo los tipos de suelos y sus características a las cuales se va a someter, por lo tanto, se realizó un diagnóstico de los suelos para el cultivo de la yuca en Santander.

Por lo tanto, en un inicio se identificó el tipo de suelo usado en el cultivo de la yuca en Santander y se realizó un ensayo de corte directo para identificar el esfuerzo requerido para realizar la actividad. Cabe resaltar que el tipo de terreno escogido fue aquel de mayor resistencia al corte, según sus propiedades. Para la selección del tipo de suelo, con ayuda de la literatura, se pudo determinar que la yuca es un arbusto perenne que se siembra en diversos tipos de terrenos, sin embargo, los suelos óptimos para la yuca son suelos francos (Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola, 1991). Este nombre hace referencia a su clasificación según la textura, la cual representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que lo constituyen: arena gruesa, arena media, arena fina, limo o arcilla (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León y Hill, 2004).

Para determinar la textura del terreno, se usa el diagrama triangular (Figura 36), donde este mediante el uso de granulometría clasifica el suelo según su tenor en arcilla, en limo y en arena, fijando un punto que se sitúa dentro del triángulo, en el interior de una casilla y que permite identificarlo y darle un nombre asimilándolo a la clase textural representada (Rucks et al., 2004)



estando los francos en el centro del triángulo, ya que son una textura equilibrada, porque presenta la mayor parte de las cualidades favorables de los tres tipos anteriores sin sus defectos (arenosa, limosa, arcillosa) (TRAGSA, 1994, P.52).

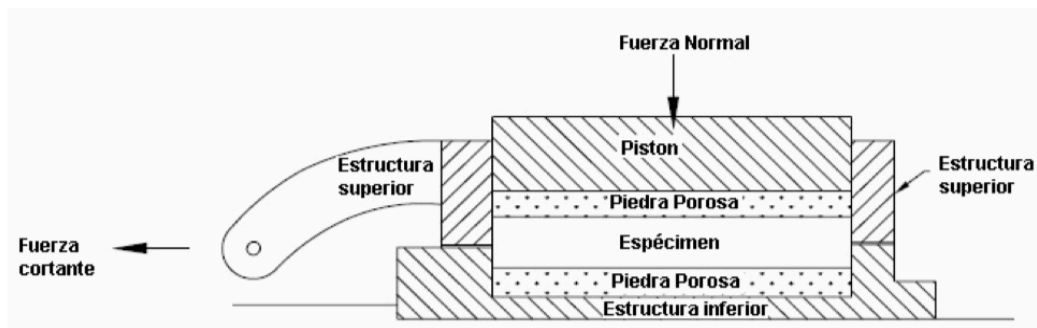


Según el estudio de suelos y zonificación de tierras del departamento de Santander realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (1994) aquellos departamentos donde se siembra yuca y tradicionalmente la han cultivado son: Rio Negro, Ocamonte, la Paz, Capitanejo, Bucaramanga, Piedecuesta, San Gil, Guadalupe, Suaita, Lebrija, Jordán y Bolívar, entre otros. Cada zona en este estudio cuenta con una descripción detallada de las características del suelo; se pudo identificar la localización específica (coordenadas geográficas) de suelo cuyo número de perfil es PS-88 (Figura 37), correspondiente al municipio de San Gil, Santander. Fue escogido debido a que presenta, a una profundidad de 0 a 27 cm, una textura arcillosa, y además se ha sembrado yuca en esta ubicación. Es indispensable resaltar que la muestra extraída fue de una

profundidad máxima de 20 cm, ya que, en la preparación de los suelos para el cultivo de la yuca, no excede de esta medida, además las características del suelo varían dependiendo de su profundidad.

6.2.3.2. Ensayo de corte directo. El ensayo de corte directo determina los parámetros de resistencia al corte de los suelos, ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (C), este consiste en hacer deslizar una porción de suelo, respecto a otra a lo largo de un plano de falla predeterminado mediante la acción de una fuerza de corte horizontal incrementada, mientras se aplica una carga normal al plano del movimiento (González, Ferrer, Ortuño y Oteo, 2002).

Para la realización del ensayo se siguió la norma “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE MÉTODO DE CORTE DIRECTO (CD) (CONSOLIDADO DRENADO) - I.N.V. E – 154 – 07”. En la figura 38 se observa el esquema del dispositivo de corte directo.



A continuación, se muestra el diagrama del proceso realizado para obtener el resultado de resistencia al corte de la muestra de suelo arcilloso extraída:

1



Extracción de la muestra de suelo tipo arcilloso:

-Coordenadas geográficas: -**Longitud:**73° 08' 42" -**Latitud:** 6° 34' 32"
 -**Toma de muestra inalteras del suelo:** Extracción de un cubo de aproximadamente 20 cm de lados. Se cubrió con parafina y se realizó un recipiente con las mismas medidas para que al ser transportado no se alterará su estructura y humedad naturales significativamente.
 *Se marcó la cara superior del cubo, ya que es indispensable el sentido de la extracción de los anillos. Extracción de la muestra en época de **verano**.

2



Medición del contenido de humedad (Método según NCh 1515 Of. 79)

Fórmula:

$$W (\%) = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} * 100 \%$$

W=Contenido de humedad (%)
 Mh= Peso recipiente + muestra húmeda (gr.)
 Ms=Peso recipiente + muestra seca (gr.)
 Mr= Peso recipiente

-Se realizó el procedimiento en el: Laboratorio de Caracterización de Materiales de Construcción, de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

Contenido de humedad: 12,2 %

*Se realizó el mismo procedimiento para tres muestras y realizó un promedio como resultado final.

*Cuadro de datos completos **Apéndice E**.

3



Extracción de los anillos de la muestra de suelo arcilloso:

Se extrajeron nueve anillos de la muestra de forma horizontal, los cuales se diponen 3 para cada fuerza normal aplicada. Se requirió la medición de las dimensiones de cada anillo y su peso para calcular el área del segmento que falla.

Continuación del diagrama en la siguiente página

4



Colocación de la muestras en el dispositivo y aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra:

La prueba se llevo a cabo en el: Laboratorio de Caracterización de Materiales de Construcción, de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. En primera instancia se ubicaron las muestras de los anillos en el dispositivo y se aplicó una carga normal de 8 Kg, 16 Kg y finalmente 32 Kg. Se liberó el marco que sostiene la muestra y se aplico la fuerza de corte hasta hacer fallar la muestra. Se tomó el dato para cálculos posteriores.

*Cuadro de datos completos **Apéndice E.**

5



Cálculos para la obtener la resistencia al corte del suelo arcilloso:

Datos obtenidos:

Fuerza normal aplicada	Promedio de fuerza de falla
8 Kg	16.20 Kg
16 Kg	22.22 Kg
32 Kg	24.72 Kg

*Cuadro de datos completos **Apéndice E.**

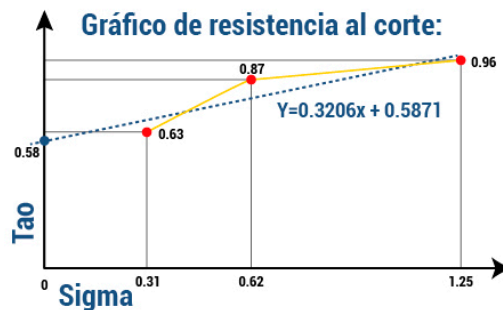
Área del segmento: 25.51 cm²

A

Para obtener la resistencia al corte se calcula: **Sigma**=Fuerza normal aplicada/ Área
Tao= Fuerza de falla/Área

- ***Sigma**=Esfuerzo axial
- ***Tao**= Esfuerzo de corte

	Sigma Kg/cm ²	Tao Kg/cm ²
8 Kg	0.31	0.63
16 Kg	0.62	0.87
32 Kg	1.25	0.96



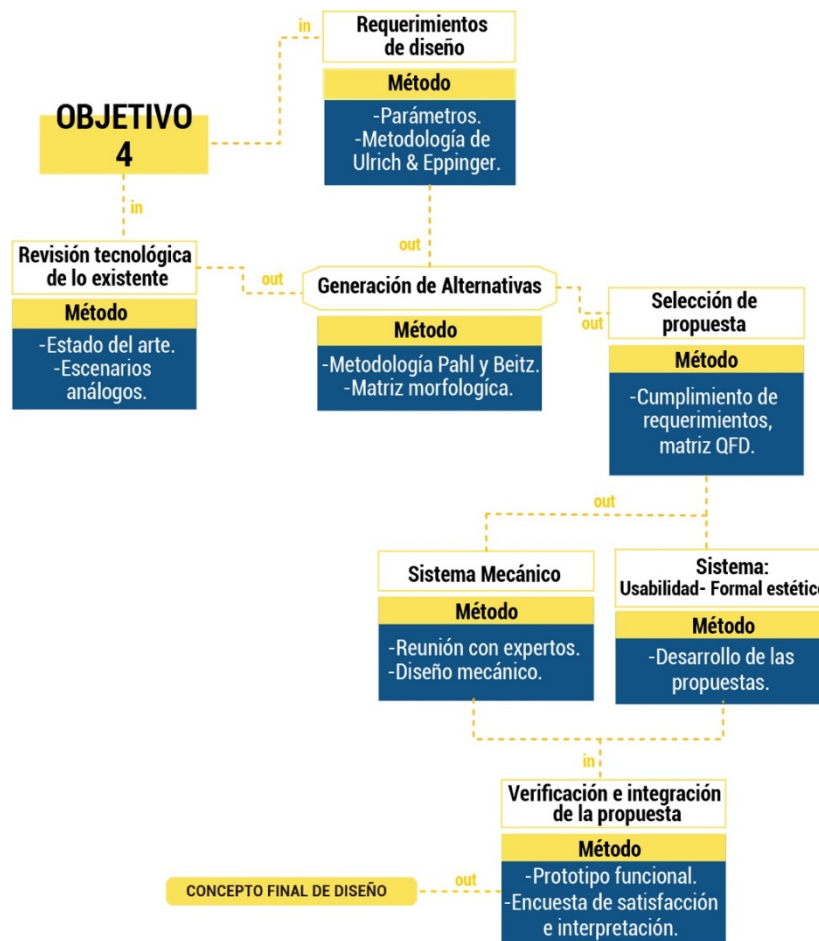
Basados en el gráfico de resistencia al corte realizado a partir de los cálculos, se puede deducir que entre **mayor sea la fuerza axial aplicada, mayor será la fuerza de corte** necesaria para penetrar el suelo. Además, que la **cohesión es= 0.58 Kg/cm2**, es decir, el esfuerzo que sostiene el suelo cuando el esfuerzo axial es 0, sin aplicar fuerza, la cual es la disposición natural del suelo para los cultivos.

Se puede observar que el proceso ejecutado, se realizó teniendo en cuenta las condiciones reales en las cuales es cultivada la yuca, es decir, en época de verano, contando con porcentajes de contenido de humedades bajas, para este caso un contenido de humedad de 12,2%, características en donde los suelos son más difíciles de trabajar debido a que se comporta como sólido. Además de obtener las muestras del tipo de suelo arcilloso, los cuales, son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente, pero contienen buenas reservas de nutrientes siendo fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos (TRAGSA, 1994).

A partir de los cálculos realizados, se puede afirmar que la fuerza necesaria para penetrar el suelo en condiciones naturales e ideales es $C=0.58 \text{ kgf/cm}^2$ (cohesión), es decir sin aplicación de fuerza axial. Pero buscando que el dispositivo tenga un mayor rango de uso, ya que la yuca se cultiva en diversos tipos de suelos, se decide plantear el sistema mecánico con base en el valor de esfuerzo cortante (τ) más alto resaltado en rojo en el diagrama anterior (Figura 39, ítem 5), es decir, $T=0.96 \text{ kgf/cm}^2$. De igual manera, se plantea trabajar con un factor de seguridad de 3, por lo tanto, se aproximó $T=3 \text{ kgf/cm}^2$, para evitar la falla del dispositivo a diseñar.

7. Proceso Creativo

El siguiente capítulo se documenta el cumplimiento del cuarto objetivo específico: *4. Integrar en el diseño de un dispositivo los factores y variaciones identificados, para favorecer la postura neutral de la espalda*. Para llevar a cabo el desarrollo se planteó el diagrama de tareas (in) y resultados (out) (Figura 40), en donde se obtendrá al final del proceso, el concepto final del dispositivo a diseñar.



7.1. Revisión tecnológica de lo existente

El azadón, la pala y la pica son herramientas agrícolas manuales que se remontan años atrás para la actividad de labranza, estas herramientas convencionales aún están arraigadas a la cultura de los agricultores campesinos. Desde el siglo pasado, estos sistemas de producción agrícola han evolucionado rápidamente, con un importante aumento del rendimiento (Cortés, Álvarez y González, 2009), por ello se realizó una revisión tecnológica de productos con mejoras de dichas herramientas o sistemas mecanismos similares buscando realizar la acción de manera manual. En el apéndice G se encuentra en detalle las herramientas manuales en el mercado nacional e

internacional, patentes relacionadas con las herramientas manuales y herramientas manuales con principios rotacionales y de palanca en otros contextos encontradas.

7.1.1. Análisis de las herramientas existentes. De las herramientas encontradas en la revisión tecnológica se observaron aspectos que mejoran la eficiencia de la tarea, el tiempo de preparación de tierras y la postura adquirida por el usuario. Sin embargo, estos elementos solo funcionan en terrenos ideales, es decir aquellos de pendiente cero y con un nivel reducido de maleza. Teniendo en cuenta la geografía de Santander donde dichos terrenos no son frecuentes, el uso de estas no es común.

Se pudo caracterizar las herramientas de acuerdo con ciertas características similares, como instrumentos que solo remueven y airean el suelo de manera superficial (Figura 1,2 y 3 del apéndice G), donde el usuario realiza movimientos de empuje horizontal facilitado por ruedas, manteniendo una postura erguida durante toda la actividad. Estas herramientas generalmente son de gran tamaño y de un peso considerable. Asimismo, se encontró herramientas eléctricas (Figura 4 y 5 del apéndice G) que disminuyen significativamente el esfuerzo que debe realizar la persona y además remueven el terreno a diversas profundidades y con mayor potencia, reduciendo el tiempo de la actividad. Sin embargo, hay que adicionar el peso del motor y la vibración de este, donde dicho peso debe ser trasladado por el usuario durante la actividad. Generalmente, este tipo de herramientas son de uso doméstico (jardines) ya que requieren fuente de energía eléctrica cercana, dificultando el uso de estas en grandes campos o fincas.

Se encontraron herramientas que mejoran específicamente las posturas que adquiere el usuario, logradas gracias a las modificaciones formales y accesorios adicionales que se le ajustan al mango (Figura 8 - 12 del apéndice G), donde la mayoría de las alteraciones son adaptables a diferentes

tipos de herramientas como azadones, picas, rastrillos, palas entre otros, manteniendo el esquema tradicional de estas. Sin embargo, esta característica no se relaciona con mejorar la eficiencia y la disminución del tiempo para ejecutar la actividad de labranza.

Otro modo de abordar el problema postural es el remplazo de la fuerza requerida por el tronco superior de las extremidades inferiores (Figura 6 y 7 del apéndice G), evitando que el usuario se incline debido a que no es necesario acercarse al plano de trabajo para realizar las diferentes tareas involucradas en la labranza. Esta fuerza es requerida al momento de penetrar la tierra para la remoción y destrucción de terrones, sin embargo, por esta cualidad, este tipo de herramientas son de gran tamaño y poca precisión afectando la visibilidad de los usuarios durante la labor.

Como conclusión, las herramientas encontradas en la revisión no remplazarían la labor de la labranza en terrenos con pendientes, ya que fueron diseñadas para terrenos ideales y con libertad de movimiento, el cual el usuario de este proyecto no posee. De igual forma, dichas herramientas no manejan un balance entre el bienestar del usuario y la adecuada realización de la tarea, por tanto, se sugiere que la aparición de DME relacionados con levantamiento y manejo de cargas de forma repetitiva son constantes.

7.2. Requerimientos de diseño

Los requerimientos planteados (Tabla 1) para el dispositivo de labranza manual en el cultivo de la yuca se obtienen de las fases anteriores. Con base en la metodología de Ulrich y Eppinger (2013) se clasifican según sus características en humano, funcional, técnico-productivo o formal-estéticos.

Cada requerimiento será catalogado y se le asignará puntos dependiendo su clasificación en taxativo (3), deseable (2) y opcional (1), según la importancia que tenga para el diseño del dispositivo, buscando que la propuesta a desarrollar se enfoque en las necesidades específicas del

usuario. Esta puntuación asignada, se realizó a concepto del grupo de trabajo que desarrolla el proyecto, teniendo como eje principal al usuario y su bienestar, sin descuidar la eficiencia y eficacia que debe cumplir un dispositivo a la hora de realizar la tarea.

Tabla 1

Requerimientos de diseño.

-CLASIFICACIÓN- REQUERIMIENTO	DETERMINANTE	PARAMETRO	PUNTOS
HUMANOS			
-TAXATIVO- MÍNIMA CARGA EN ESPALDA BAJA, HOMBRO/BRAZO Y MUÑECA	Peso máximo que puede cargar una persona entre 20 - 50 años.	Peso máximo 3 Kg máximo (INSHT, 1997)	3
	Dimensiones de carga	Dimensiones máximas: 60*50*35 cm (Ancho*Profundo*Alto) (Universidad de Málaga, 2007)	3
	Fuerza de compresión intradiscal	Los límites aceptables de fuerza de compresión intradiscal señalado por NIOSH para adultos de ambos sexos es 3.4 KN a nivel de las vértebras L5 a S1 (Gutiérrez, Flores y Monzó,2010).	3
-TAXATIVO- POSTURAS DE USO Y TRANSPORTE ACORDES A LOS LÍMITES MÁXIMOS	Ángulos de confort para posturas repetitivas y de larga duración	Segmento hombro-cadera/ Cadera-rodilla: 90-110° Segmento hombro-codo/Codo-puño: 80-160° Segmento: Hombro-codo/Vertical por el hombro: 10° - 35° (Llaneza, 2009)	3
	Altura del plano de trabajo	Entre la altura de los nudillos y la altura de los codos: 86.8 a 110.5 cm. (Llaneza, 2009)	3
	Movimientos requeridos para el uso acorde a límites máximos de extensión de las extremidades	Alcance brazo frontal: 68.5 cm Alcance brazo lateral: 71.8 cm Altura de codo a 90°: 99.2 cm (Llaneza, 2009)	3
-TAXATIVO- SEGURIDAD	Aplicación de normas técnicas colombianas – ICONTEC	-NTP 391: Herramientas manuales (I): condiciones generales de seguridad -NTC 5655. Principios para el diseño ergonómico de sistemas de trabajo.	3

	Las partes/componentes del dispositivo debe tener la posibilidad de asegurarse para evitar perdida del equilibrio o movimientos inesperados	-Ensamble con tornillería de alta resistencia y características anticorrosivas. -Estructura simétrica	3
-TAXATIVO- ACCIONAMIENTO MANUAL	Agarres manuales	-Contorno longitudinal curvo con lado cilíndrico y con forma de cono doble. -Alineación óptima entre brazo y herramienta, ángulo entre el eje longitudinal del brazo y el del mango: 100° y 110°. - Diámetro menor: 28mm – diámetro mayor: 38mm. (Strasser y Bullinger, 2007)	3
	Implementación de sistemas y componentes convencionales	Uso de mecanismos con sistemas de accionamiento convencionales: Manivela, volante, botón, palanca, pedal, pulsador, interruptor giratorio/palanca, entre otros.	3
-TAXATIVO- DIMENSIONES ADAPTABLES PARA POBLACIÓN DE 20 A 50 AÑOS	Antropometría de agricultores entre 20 – 50 años de la población colombiana.	Percentil P95 para dimensiones mínimas y percentil P5 para dimensiones máximas	3
	El trabajador cuenta con la posibilidad de cambiar de posición y ajustar alturas según la necesidad	Posición de pie - debajo de la altura de los codos: 90,2 a 106,8 cm. (Maradei, Espinel y Peña, 2008)	3
	Segmentos corporales adecuados	Altura hombro Altura muñeca Anchura máxima del cuerpo Alcance brazo frontal Longitud codo dedo medio Alcance máximo vertical Alcance brazo lateral Longitud de mano Ancho de mano Altura de rodilla Altura codo a 90° (Maradei, Espinel y Peña, 2008)	3
-TAXATIVO- TRANSPORTABLE	Elementos que faciliten su desplazamiento	Por ejemplo: Ruedas, distribución de carga en caderas	3

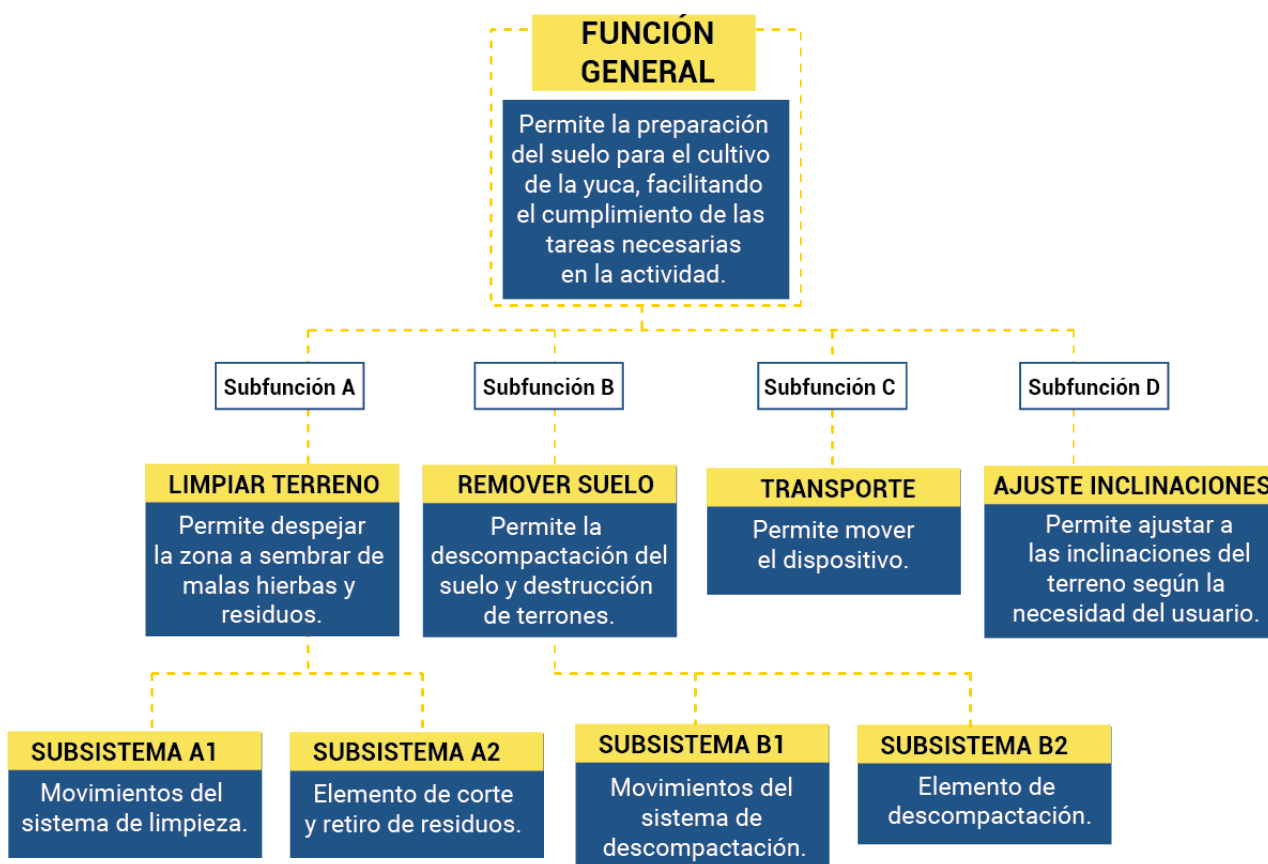
FUNCIONAL			
-TAXATIVO- REALIZACIÓN DE TRES TAREAS	Tarea de limpieza de terreno (Movimiento Alternativo)	Uso de mecanismos con movimientos alternos como: Biela-Manivela, émbolo- Leva, ente otros.	3
	Tarea de remoción de la tierra y realización de surcos (Movimiento circular o giratorio)	Uso de mecanismos con movimientos circular como: Engranajes, ruedas de fricción, poleas con correas, tornillos sin fin, piñón y cadena, ente otros.	3
-DESEABLE- CONTROL VISUAL DE LA ACTIVIDAD	La herramienta permite al operario la visibilidad del área de terreno durante las tareas	Ángulos de visión recomendados: Vertical: Máximo +35° y -50° Horizontal: +50° y -50°	3
-DESEABLE- POCOS PASOS DE AJUSTE	Reducido número de pasos para cambio entre tareas o movimientos	-Número de pasos configuraciones mínimo 1 y máximo 4. - Accionamiento del sistema de forma rápida	2
-TAXATIVO- AJUSTABLE A DIFERENTES INCLINACIONES DE TERRENO	Articulaciones, Módulos Altura ajustable	Terrenos planos a terrenos con inclinaciones hasta de 30°	3
TÉCNICO-PRODUCTIVO			
-DESEABLE- RESISTENCIA A IMPACTOS Y CAÍDAS	Materiales resistentes a impactos	Metales, polímeros	2
-TAXATIVO- PROPORCIONA FUERZA PARA PENETRAR EL SUELO	Fuerza cortante de suelo	3 kgf /cm ²	3
-DESEABLE- RESISTENCIA A LA INTEMPERIE	Materiales resistentes a ambientes de diferentes temperaturas, y resistentes a la tierra y humedad.	Plásticos, metales, polímeros	2
-OPCIONAL- MANTENIMIENTO FÁCIL O NULO	Frecuencia de mantenimiento. Materiales y texturas que permitan su limpieza.	Frecuencia de mantenimiento mínimo 1 vez al mes	1
-OPCIONAL- CICLO DE VIDA AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE.	Materiales con un daño reducido al medio ambiente. Procesos con bajo desperdicio.		1

-OPCIONAL- LOS MECANISMOS Y COMPONENTES SERÁN NORMALIZADOS PARA ADQUIRIRLOS EN EL MERCADO	Para cualquier daño los componentes deben ser fácilmente desmontables	Sistemas de ensambles y uniones desmontables	1
-OPCIONAL- TIEMPO DE VIDA ÚTIL ELEVADO	Manual de operaciones y mantenimiento. Acabados resistentes al deterioro por rozamiento.	Diagrama de uso Acabados externos pavonados o pintura eletrostática	1 1
EXPRESIVO-FORMAL			
-TAXATIVO- LENGUAJE DE USO CLARO	Formas y texturas que faciliten la identificación de uso y partes	Formas comunes Retroalimentación Etiquetas de identificación de mandos y de advertencia Manuales de uso físicos	3
-OPCIONAL- COMPOSICIÓN DEL COLOR FORMADA POR UN COLOR DOMINANTE, UN COLOR SECUNDARIO Y UN ACENTO.	Alto contraste	Colores contrastantes	1

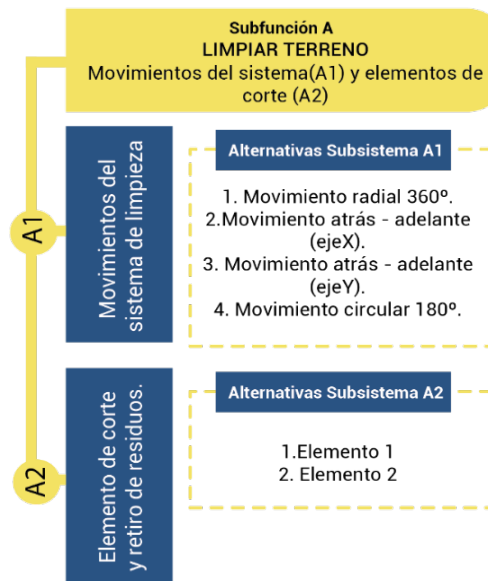
7.3. Generación de alternativas

Para una solución más integral se tomó como base la metodología de diseño de enfoque sistemático planteada por Palh y Beitz (2013), la cual consiste en definir la función general del dispositivo a diseñar, desglosándola en subfunciones y estas en subsistemas, de ser necesario, hasta que sean lo suficientemente claras y concisas para dar inicio a la generación de alternativas y búsqueda de soluciones, obteniendo principios mejor fundamentados mediante el concepto de diseño.

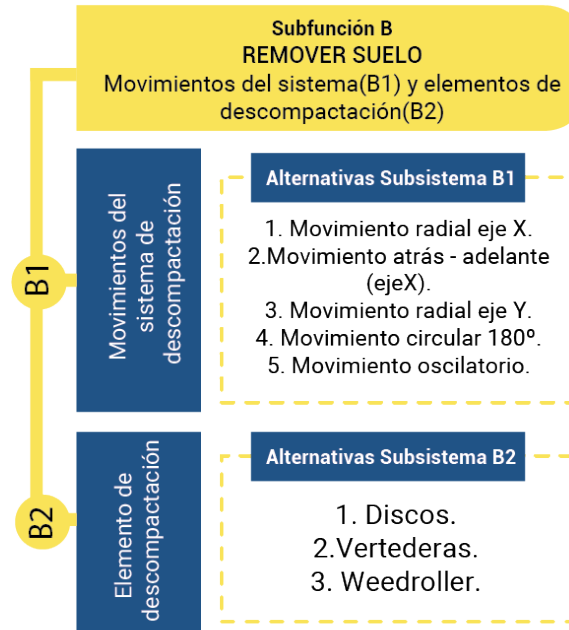
A partir de la figura 41 se plantearon diversas soluciones que serán integradas en una etapa posterior mediante una matriz morfológica.



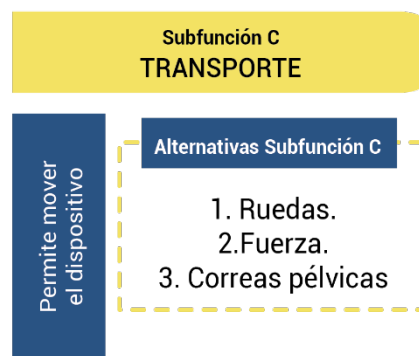
7.3.1. Subfunción A: Limpiar el terreno. En el esquema de alternativas para la subfunción A: Limpiar terreno (Figura 42), son enunciadas las soluciones planteadas para cada uno de los subsistemas A1 y A2. Para el caso de las alternativas propuestas para el subsistema A1: *Despejar el terreno de hierbas/malezas*, se diferencian principalmente, en el eje, plano o tipo de movimiento que realizará el dispositivo. Por otro lado, para el subsistema A2: Elemento de corte, se describen ángulos, dimensiones o tipos de cuchilla establecidos en la literatura o planeados a partir de esta para el corte de la maleza, considerando que el accionamiento se realizaría de forma manual. Las alternativas se muestran y se analizan en el apéndice H.



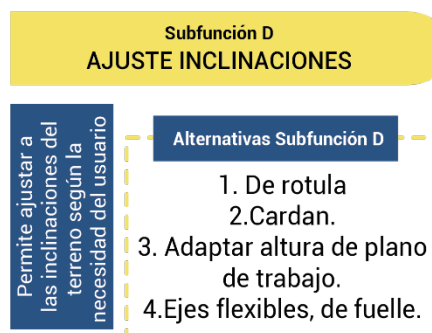
7.3.2. Subfunción B: Remoción del terreno. En la figura 43 se enuncian las alternativas generadas para dar solución a la subfunción B: Remoción del terreno, a partir del subsistema B1 y B2. Para el subsistema B1: Descompactación del suelo, se proponen movimientos que se diferencian entre sí, debido al plano o eje de acción, propiciando la descompactación y destrucción de terrones de la tierra. Para el subsistema B2: Elementos de descompactación, se recopilan una serie de elementos existentes que realizan la tarea de forma similar, aun así, se plantean como base, ya que se requiere una adaptación de estos para el caso de estudio particular. Las alternativas se muestran y se analizan en el apéndice I.



7.3.4. Subfunción C: Transporte. En esta sección se muestran las alternativas generadas (Figura 44) para la subfunción C: Transporte, las cuales son elementos existentes en el mercado enfocándolas al caso de estudio, teniendo en cuenta la practicidad para el usuario. Las alternativas se muestran y se analizan en el apéndice J.



7.3.5. Subfunción D: Ajuste a inclinaciones. Para generar soluciones a la subfunción D: *Ajuste a inclinación*, se generaron alternativas a partir de una busca de lo existente, planteando diferentes acoples. Las alternativas se muestran y se analizan en el apéndice K.



En este ítem se seleccionaron y estudiaron conceptos, mediante el análisis del funcionamiento y de las ventajas y desventajas que aportan a la actividad, esto se realizó con el fin de dar solución a cada subsistema de forma separada para así poder fusionarlas y generar soluciones más integrales y completas (Ver apéndice H a K).

7.3.6. Matriz morfológica. El análisis morfológico es un método que permite identificar de un problema complejo las posibles soluciones mediante un sistema de entrecruzados. Parte del análisis de las partes que componen dicho problema a través de una lista de atributos o soluciones que son graficadas en la matriz en donde cada categoría contendrá una variable de trabajo y así se logra obtener resultados compuestos (Ritchey, 2003).

En la figura 46 se resume mediante gráficos, los sistemas planteados que dan solución a cada subsistema para desarrollar la actividad de labranza, en donde en las filas se encuentra el subsistema o subfunción, categorizadas como A1, A2, B1, B2, C y D y en las columnas el número de soluciones generadas, enumeradas de 1 a 4, dependiendo el caso.

Figura 45. Esquema de a

		1	2	3	4	5		
SUBFUNCIÓN A Limpieza de suelo	SUBSISTEMA A1 Sistema						A ₁	
	SUBSISTEMA A2 Cuchilla							A ₂
SUBFUNCIÓN B Remover tierra	SUBSISTEMA B1 Sistema							B ₁
	SUBSISTEMA B2 Cuchilla							B ₂
SUBFUNCIÓN C Transporte							C	
SUBFUNCIÓN D Ajuste de inclinación							D	

Mediante un proceso de asociaciones entré los fragmentos de la matriz se obtuvo la consolidación de alternativas, sin embargo, se debe tener en cuenta que las combinaciones generadas deben ser refinadas y desarrolladas antes de dar una solución que sea realizable mediante análisis detallado y verificaciones con expertos. En la figura 47 se ilustra las asociaciones generada de la matriz morfológica (Figura 46) que dio resultado a cada alternativa.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
SUBFUNCIÓN A Limpieza de suelo	 A11	 A14 180°	 A13	 A12	 Ø
SUBFUNCIÓN B Remover tierra	 A21	 A22 Para suelos duros con poca maleza Para suelos duros con abundante maleza	 A21	 A21	 A22 Para suelos duros con poca maleza Para suelos duros con abundante maleza
SUBFUNCIÓN B Remover tierra	 B13	 B14	 B14	 B12	 B15
SUBFUNCIÓN C Transporte	 B21	 B23	 B22	 B22	 B23
SUBFUNCIÓN C Transporte	 C1	 C2	 C2	 C3	 C2
SUBFUNCIÓN D Ajuste de inclinación	 D2	 D3 Tornillo Sin fin Rango de desplazamiento Eje de alturas	 D4	 D1	 D4

A continuación, se detallan e ilustran las alternativas obtenidas de las asociaciones realizadas (Figura 48, 49, 50, 51 y 52). En cada una de ellas se indica su funcionamiento planteando posibles mecanismos o elementos para su realización, además, enunciando posibles ventajas y desventajas de cada una de estas.

7.3.6.1. *Alternativa 1.*

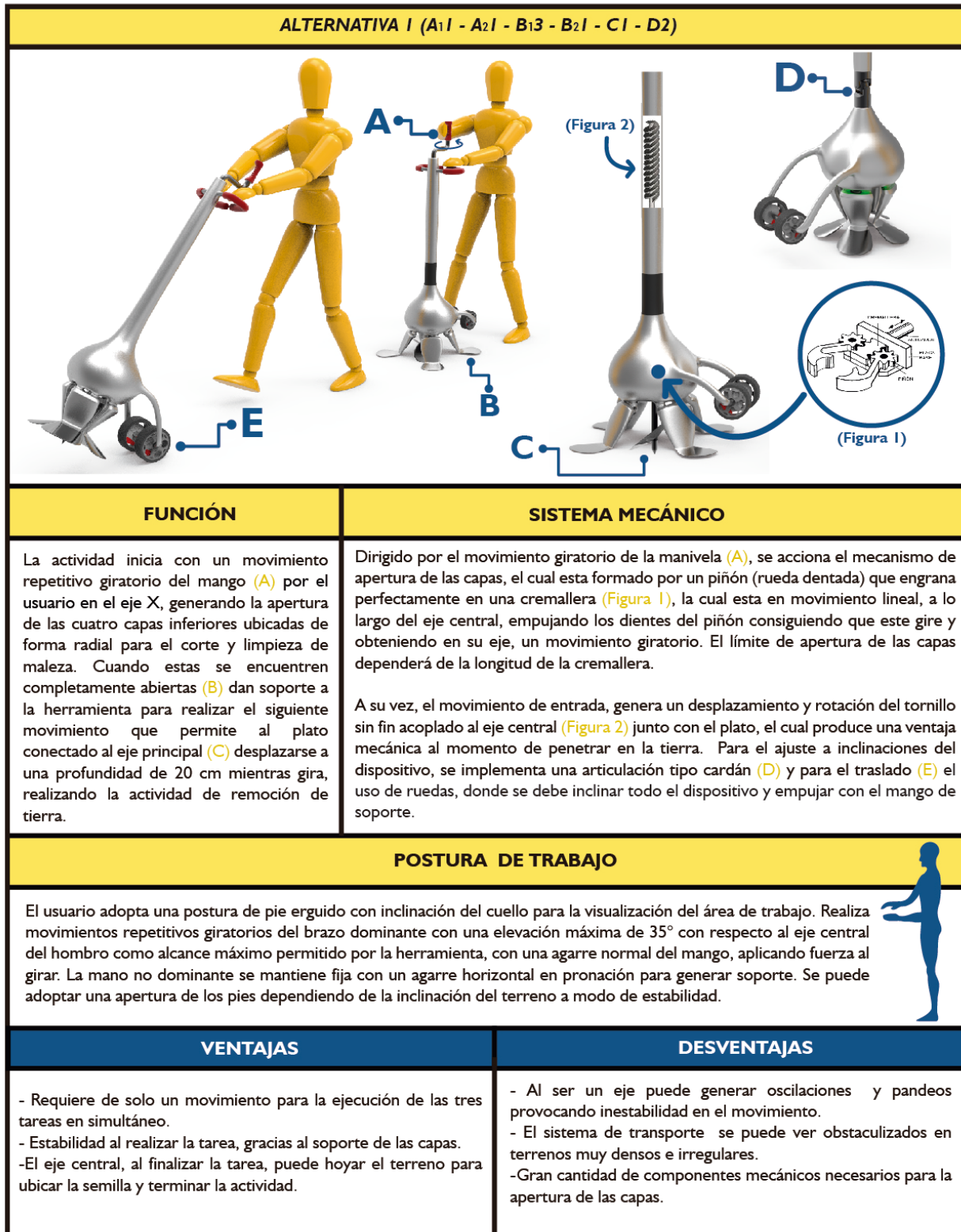


Figura 48. Descripción Alternativa 1

7.3.6.2. *Alternativa 2.*



Figura 49. Descripción Alternativa 2

7.3.6.3 Alternativa 3.

ALTERNATIVA 3 (A13 - A21 -B14- B22 - C2 - D4)	
FUNCIÓN	SISTEMA MECÁNICO
<p>Inicialmente el usuario debe penetrar la punta (A) de la herramienta con ayuda de su pie para darle soporte y estabilidad. El dispositivo funciona con ayuda de un motor que es accionado con la mano mediante un botón en la parte superior.</p> <p>En primera instancia se acciona el sistema de limpieza de maleza, el cual genera un movimiento hacia adelante y atrás (B) para “barrer” la zona frente al usuario. Para limpiar en otra dirección el usuario puede rotar la herramienta teniendo como eje de giro la punta penetrada y controlando el movimiento mediante el mango de soporte en forma de L (D).</p> <p>En segunda instancia, se produce un movimiento rotacional (C) , en donde la cuchilla corta en todas direcciones y cuenta con cierta concavidad, generando un volcamiento de la tierra.</p>	<p>El dispositivo cuenta con un motor que genera la potencia necesaria para dar impulso a los movimientos. Con la ayuda de engranajes cónicos (Figura 1) se transmite el movimiento cambiando de dirección de los ejes.</p> <p>Para adaptar a inclinaciones se hace uso de un eje flexible (E). Para ser transportada se requiere el levantamiento de la herramienta por parte del usuario.</p>
POSTURA DE TRABAJO	
	<p>El usuario se encuentra de forma erguida, con el brazo dominante en flexión aprox. a 90°, con una desviación interna de muñeca en aducción para el accionamiento del botón con cuatro dedos. La mano no dominante realiza un agarre horizontal en pronación del mango en forma de L. La pierna dominante es flexionada al momento de penetrar la punta en el suelo.</p>
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Fácil manejo de la herramienta en diversas direcciones. -Ajuste a inclinaciones sin importar el grado de pendiente. -No requiere de la aplicación de fuerza por parte del usuario. 	<ul style="list-style-type: none"> - En terrenos muy duros, puede necesitar una fuerza en el eje Y para la penetración. - El sistema de anclaje genera en el usuario inestabilidad al no tener los dos pies sobre el área de trabajo. -Al usar motor, requiere el uso de combustible o fuente de energía.

Figura 50. Descripción Alternativa 3

7.3.6.4. *Alternativa 4.*

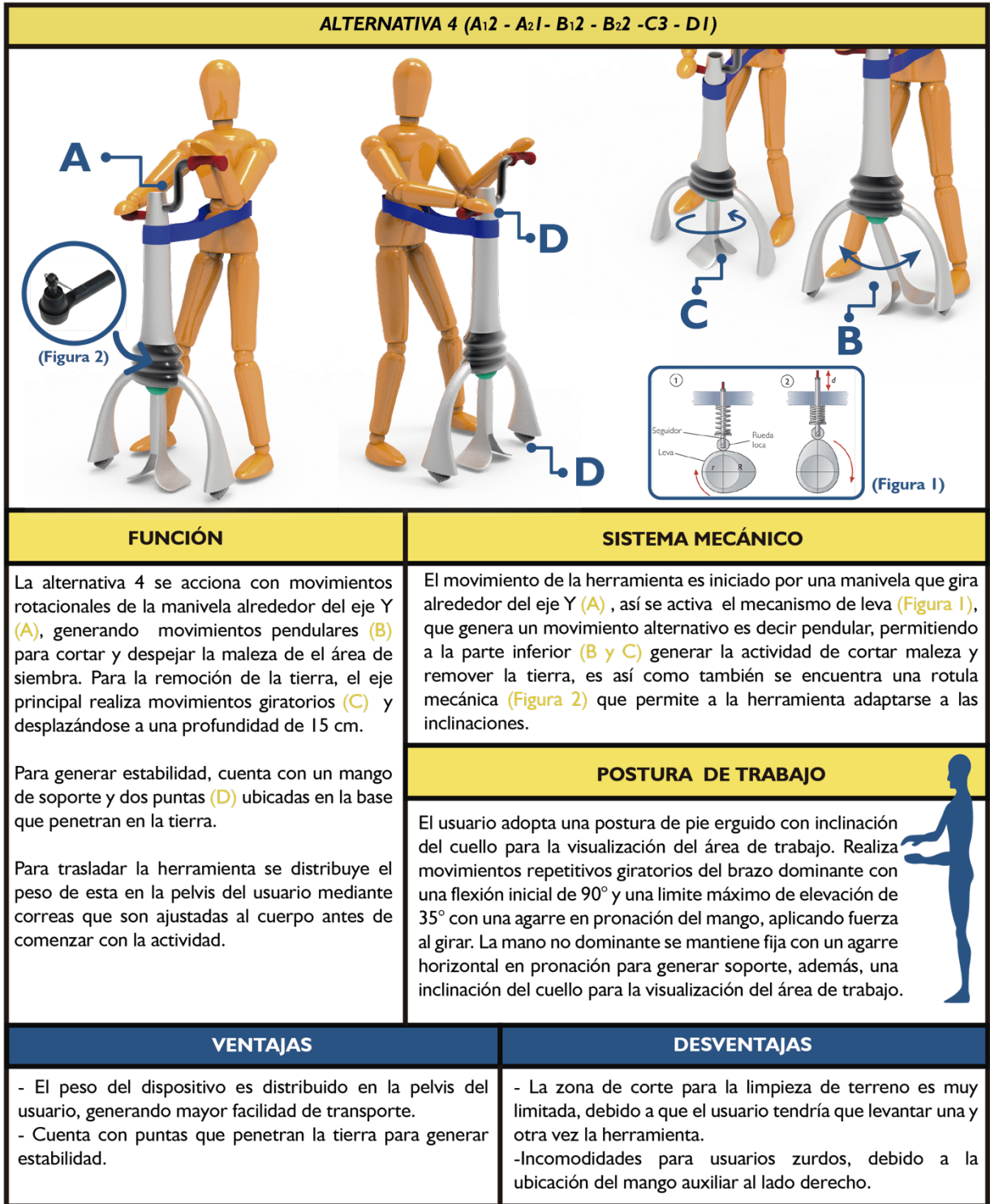


Figura 51. Descripción Alternativa 4

7. 3.6.5. *Alternativa 5.*

ALTERNATIVA 5 (Ø- A22- B15 - B21 - C2 - D4)	
FUNCIÓN	SISTEMA MECÁNICO
<p>La herramienta es accionada por la fuerza del pie con movimiento oscilantes o aleatorios a modo de pedal (A) generando movimientos giratorios de una cuchilla tipo plato.</p> <p>Cuenta con dos puntas (B) que son penetradas en la tierra para generar estabilidad. En la parte superior el usuario controla la herramienta mediante un mango (C), el cual es sujetado con las dos manos para mayor control y soporte.</p> <p>En esta alternativa, el movimiento giratorio de la cuchilla es usada para limpiar el terreno y remover la tierra simultáneamente, cortando la malezas de raíz y dejándolas en el mismo lugar para que sean usadas a modo de abono.</p>	<p>El movimiento de entrada oscilante realizado por el usuario con el pie es transformado a un movimiento de salida giratorio por un sistema de rueda excéntrica- biela- palanca (Figura 2).</p> <p>En este caso, cuando la máquina produce movimiento giratorio a partir de uno oscilante, es frecuente emplear una palanca de tercer grado, así el movimiento de la potencia (normalmente el pie) es pequeño en relación al de la resistencia (pie de biela) y se pueden alcanzar mayores velocidades de giro.</p> <p>Para ser transportada se requiere el levantamiento de la herramienta por parte del usuario. Para adaptar a inclinaciones se hace uso de un eje flexible (D).</p>
	POSTURA DE TRABAJO
	<p>El usuario mantiene los dos brazos a una flexión de 90° y un agarre en pronación por el mango en posición horizontal. Durante toda la actividad, realiza movimientos repetitivos con un pie en un rango de alturas determinado por la herramienta para su accionamiento. Adopta una postura de pie erguido con inclinación del cuello para la visualización del área de trabajo.</p>
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Implementación de mayor fuerza, debido a que se usa la fuerza del tronco inferior para accionar el mecanismo. - Fusión de un solo movimiento para la realización de dos tareas (limpieza y remoción). 	<ul style="list-style-type: none"> - En terrenos irregulares e inclinados la postura adoptada con un pie siempre elevado puede generar inestabilidad y posiblemente accidentes. - Elevado número de componentes que conforman el sistema para el funcionamiento. - No tiene desplazamiento por lo tanto es más difícil de alcanzar la profundidad deseada.

Figura 52. Descripción Alternativa 5

7.4. Selección de las propuestas

Para la selección de alternativas se tuvo en cuenta el cumplimiento de los requerimientos planteados en el apartado 7.2, donde mediante una matriz QFD “*Quality Function Deployment*” se traducen las características demandadas por el usuario (requerimientos) a posibles soluciones, buscando satisfacer dichas necesidades en el resultado final (Ruiz y Rojas, 2009).

Se evaluó cada requerimiento con un puntaje de 0 (No aplica), 1 (Bajo), 3 (Neutro) y 9 (Alto) según el grado de cumplimiento de este en cada una de las alternativas. En la columna 1 y 2 de la matriz (Apéndice L) se enuncian los requerimientos ya planteados previamente junto con el puntaje asignado previamente (importancia del usuario) según la jerarquización en la tabla 1 de requerimientos en el apartado 7.2. En las columnas 3,4,5 6 y 7 se disponen las alternativas generadas, calificando el grado de cumplimiento de cada requerimiento para cada una de estas.

La alternativa 1 obtuvo el mayor puntaje, 442, la cual cumple en un mayor grado los requerimientos planteados.

A partir de este resultado se realizó una verificación de las propuestas en términos mecánicos, posturales y de usabilidad, generando una evolución y fusión de los mejores elementos de las propuestas.

7.5. Sistema mecánico

7.5.1. Mecanismos planteados. A partir de la investigación realizada en esta área (Apartado 6.2.1) se llevó a cabo un primer acercamiento al diseño mecánico de dispositivo desde las alternativas con mayor puntaje, teniendo como lineamientos base, factores como: complejidad de accionamiento y fabricación, número de componentes, peso, costos, materia prima disponible en la región, simplificación de la actividad y funcionamiento.

El mecanismo por utilizar en el sistema diseñado debe cumplir dos movimientos simultáneamente, debido a que debe penetrar la tierra a una profundidad de 20 cm realizando a su vez, movimientos circulares que genera el volcamiento de la tierra, cumpliendo así, los requerimientos de la actividad. Para esto, se realizó un comparativo de las ventajas y desventajas de los posibles sistemas mecánicos a aplicar, para así encontrar el más adecuado, el cual se puede ver en detalle en el apéndice M. De modo que el tornillo de potencia permite realizar movimientos en ambas direcciones tanto la generación del desplazamiento como los movimientos circulares en un solo sistema, a diferencia de los otros posibles mecanismos, que, para satisfacer la demanda generada, es necesario implementar más de un sistema aumentando el número de componentes en la herramienta y a su vez la complejidad de accionamiento del mismo. Así mismo, por motivos de estabilidad de los terrenos la herramienta debe ser accionada con los miembros superiores del cuerpo.

7.5.2. Primera reunión con expertos. Para la validación y verificación de las alternativas se realizó una primera revisión con expertos el día 16 de marzo de 2018 (Figura 53), en donde allí se contó con la presencia del Ingeniero Mecánico Jean Pierre Hidalgo Hernández de la Universidad Industrial de Santander y Brayan Danilo Ortiz Hernández, Ingeniero Mecánico de la Universidad Pontificia Bolivariana. La finalidad de esta primera reunión de expertos fue exponerles las alternativas planteadas anteriormente para validar el sistema, teniendo como aspectos a considerar la construcción y la complejidad de la herramienta a diseñar. A continuación, se enlistan las conclusiones de la reunión:

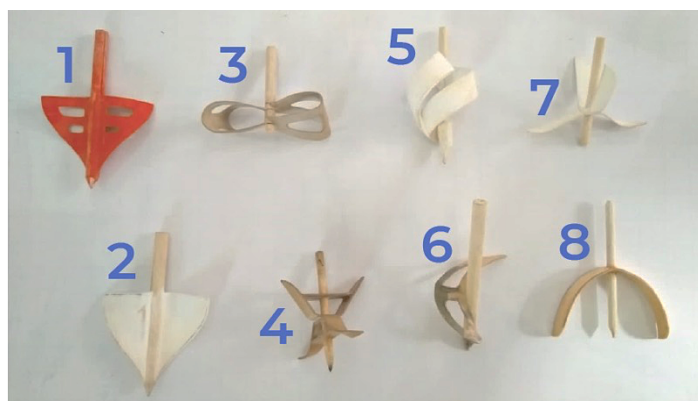
-Implementación de rodamientos para facilitar el desplazamiento entre los ejes, y ajuste de dos tuercas al inicio y fin del tornillo para evitar flexiones o pandeos debido al torque.

-Considerando la complejidad para el usuario de adaptar la herramienta a las inclinaciones con acoples, se decide para esta subfunción, realizarla mediante el ajuste de altura contando con una ranura en el eje central, en la cual el usuario, puede ajustarlo mediante un tornillo a la medida deseada, teniendo la posibilidad de eliminar los acoples.

-Para el apoyo de la mano no dominante, se decide usar una abrazadera, para que esta se ajuste a la altura que se requiera junto con la altura de mango.

-Debido al movimiento de las cuchillas, el dispositivo requiere un domo o copa en la parte inferior, que sirva como apoyo, pero su principal objetivo es retener la tierra en el diámetro deseado, para que no perfore la tierra generando un hueco y realice una descompactación como se requiere.

7.5.3. Verificación de elementos de corte y remoción. El elemento de corte y remoción del dispositivo, es decir, las cuchillas, deben tener una geometría específica de acuerdo con el movimiento generado por el mecanismo, teniendo en cuenta que la penetración en la tierra sea



correcta y no incremente el esfuerzo requerido por el usuario, además, evitar la apertura de un hueco en la tierra, ayudando a descompactar y destruir terrones.

Se realizaron varios prototipos rápidos a escala 1:2, que permitieron llegar a la solución más adecuada (Figura 54). El objetivo fue comprobar en tierra blanda, como penetraban dichas alternativas en el suelo.

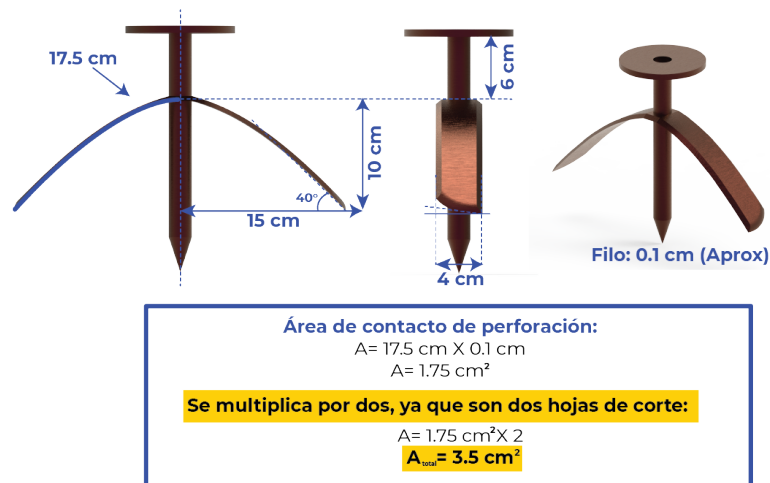
Los parámetros observados en el proceso de la prueba, que llevan a la selección de una de las alternativas fueron: la disposición final de la tierra (Remoción y descompactación, sin huecos) y el esfuerzo requerido para realizar movimientos de giratorios y de desplazamiento simultáneamente. Todas las alternativas fueron planteadas a partir de los ángulos y determinaciones establecidas en la literatura, como se expresan en el apartado 6.2.2. teniendo en cuenta el movimiento a realizar (Girar y desplazarse simultáneamente).



A partir de las pruebas realizadas (Figura 55), se puede concluir que las alternativas 1, 2 y 5 fueron las que realizaron huecos cónicos, debido a que las paredes de estas son paralelas al movimiento por lo tanto solo empujan la tierra, moviéndola y dejándola en los bordes, además, se requería de un mayor empuje, es decir, mayor aplicación de fuerza para girarlas. A su vez, la

número 6, fue la que penetró con mayor facilidad, debido a la curvatura a lo largo del eje y que en la parte inferior era más delgada y el radio aumentaba progresivamente, pero de la misma manera que las anteriores, dejaba un hueco en la tierra.

La alternativa 3 realizaba una descompactación, pero la mayoría de la tierra, al retroceder el movimiento, quedaba en la superficie de estas, generando mayor fuerza para sacarla. Las alternativas 4,7 y 8, fueron las que mejor realizaron la remoción. Aun así, la 4 y la 7 cuentan con una mayor área de contacto con la tierra, es decir, mayor número de elementos, lo que incrementa la fuerza, el peso y costo; se requiere mayor material y procesos como dobleces y soldaduras.

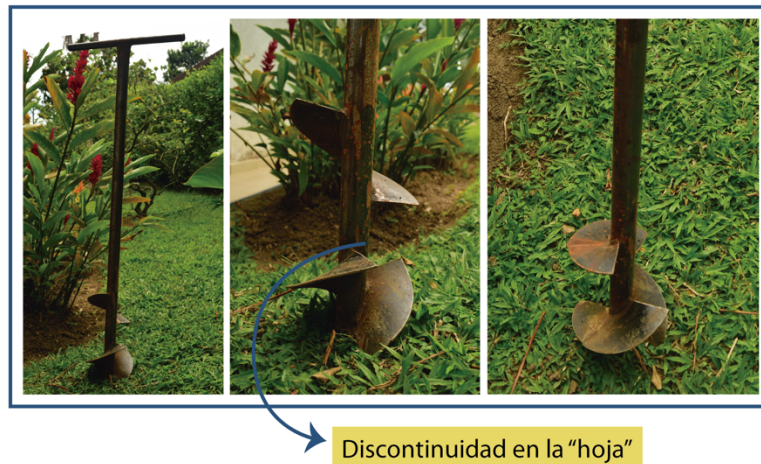


Por lo tanto, se concluye que la alternativa más viable para la realización de la actividad de acuerdo con los parámetros establecidos es la alternativa 8 (Figura 56), en donde su sencilla geometría, con las puntas anguladas favorece a la penetración progresiva, ya que, cuenta con un ángulo del perfil de la hoja de 40° , es decir, realiza perforación en suelos densos y con abundante maleza. El área de contacto de perforación es de 3.5 cm^2 , suponiendo un filo de las cuchillas de 1 mm, comúnmente encontrado en el mercado. Se tuvo en cuenta el giro en ambos sentidos de las cuchillas, por lo tanto, su geometría es simétrica.

7.5.4. Segunda revisión con expertos. Se realizó una segunda revisión con el jefe de planta Cristian Mejía y sus trabajadores, en la empresa metalmecánica INDARS SAS, cuya labor está enfocada al mantenimiento y fabricación de partes de equipos para industria avícola y maquinaria agroindustrial, el día 30 de mayo de 2018 (Figura 57). El objetivo inicial de esta reunión radicó en exponer lo bocetado de la propuesta planteada y verificar mediante su experiencia en el área de la fabricación de este tipo de elementos, con el propósito de establecer si la alternativa seleccionada podría simplificarse desde el punto de vista mecánico.



Así, en la reunión se expuso la posibilidad de diseñar un sistema similar que realice la misma acción, pero con menos cantidad de elementos buscando simplificarla y reducir costos. Se planteó el sistema mostrado en la figura 58, la cual consistió en fusionar un tornillo sin fin y el elemento de corte, buscando así realizar dos movimientos (desplazamiento y corte) con un solo sistema; en el estado del arte (Apéndice G) se identificó una herramienta conocida como *barreno*, la cual se tomó como base para el planteamiento del sistema. A partir de esta se modificó la helicoidal, donde se seccionó dejándola discontinua, con el fin de evitar que la misma realice perforaciones (hueco) como usualmente lo hace y generara una descompactación de la tierra.



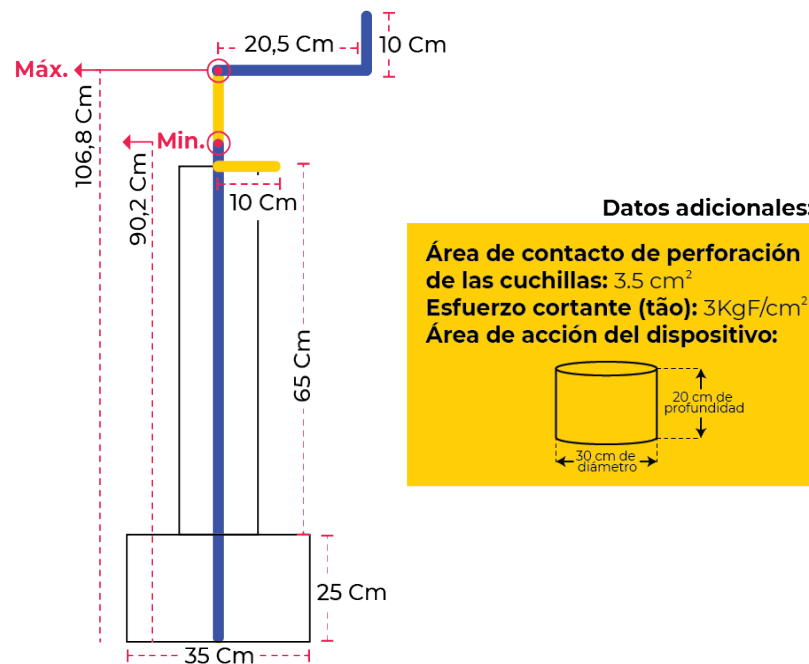
Mediante un prototipo rápido a escala real se pudo identificar que, al no tener una continuidad en la helicoidal (Figura 58), no ayudaba a enroscarse y penetrar en la tierra, ya que solo giraba en falso, es decir, en el mismo lugar. Además, se evidenció que el espacio entre cada “hoja” generaba que la herramienta se obstaculizara debido a que impedía el paso de grandes elementos como piedras o terrones haciendo que el movimiento se detuviera. Se concluyó que, esta modificación del sistema no cumplía con los requisitos básicos para la realización de la actividad.

Se establece que el sistema planteado previamente, el cual incluía un tornillo de potencia y cuchillas como elementos individuales, es la solución más factible para el problema planteado (generar movimientos circulares y desplazamiento simultáneamente). Las conclusiones de dicha revisión se exponen a continuación:

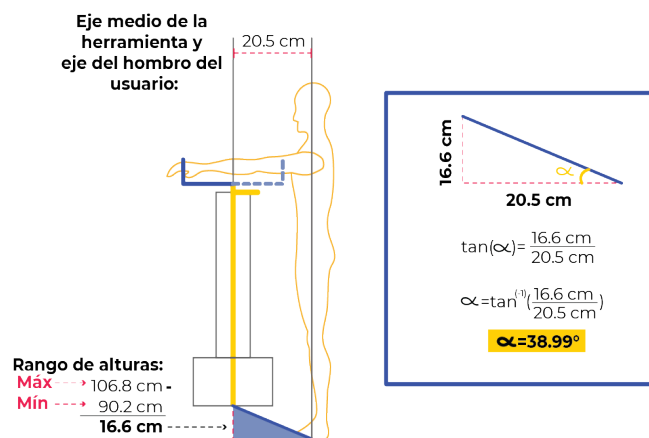
- El mecanismo ideal para el dispositivo es el tornillo de potencia ya que con pocos elementos realiza movimientos de desplazamiento y giratorios.
- El sistema de corte con el sistema mecánico debe ser aislados, buscando eficiencia en la actividad.

- Buscando dar estabilidad a la herramienta se reemplaza el elemento de domo (cubierta) por un sistema de 3 apoyos basado en la geometría triangular, para así distribuir el peso de la herramienta uniformemente, permitiendo la visibilidad por parte del usuario.
- Gracias a la experiencia en el área de la empresa, se consultó acerca de los diseños de las cuchillas validadas en la figura 58, dando así su aprobación para la alternativa número 8, ratificando así las conclusiones obtenidas.
- De igual forma el equipo de trabajo de la empresa sugirió un ensamble tipo *contra-rosca*, para la unión del tornillo y las cuchillas, previniendo así que este se “desajuste” al hacer girar en sentido contrario el sistema.

7.5.5. Cálculos. Los cálculos realizados tuvieron como base dimensiones establecidas a partir de los requerimientos, como el área de acción y medidas antropométricas, tales como altura máxima (P50 en hombres) y mínima (P5 mujeres), las cuales se ilustran a continuación:



7.5.5.1. Inclinación máxima. A partir de las dimensiones planteadas, es posible realizar una aproximación del rango de alturas en las cuales el dispositivo podrá ser usado manteniendo una postura adecuada sin flexiones o extensiones de espalda forzosas. Para esto se mide la distancia entre el eje central de la herramienta y el eje central del hombro del usuario con el rango de alturas permitido formando así un triángulo y a partir de funciones trigonométricas (tangente), se halla un ángulo de inclinación máximo. En la figura 60, se puede observar la relación entre estas medidas y los cálculos realizados:



A partir de lo anterior, se deduce, que el rango de alturas permitido por el dispositivo será: 0° a 38° aproximadamente, pero se debe tener en cuenta que influyen factores, como la altura de la persona, irregularidades del terreno, la distancia entre el usuario y la herramienta no siempre será la misma, ya que, el usuario por comodidad y experiencia adoptará diversas posturas.

7.5.5.2. Eje del tornillo de potencia. El movimiento del dispositivo dependerá del tornillo de potencia diseñado, por lo tanto, en primera instancia se calculó el torque del dispositivo. Al estar el eje sometido a torsión se calculó a partir del esfuerzo cortante del apartado 6.2.3.2 *Ensayo de corte directo* y se despejó F, es decir, la fuerza requerida para romper el terreno:

$$\text{Torque: } T = F \cdot D$$

Despejamos F del modelo de esfuerzo de corte (τ)(apartado 6.2.3.2):

$$\tau = \frac{F}{A} ; F = A \cdot \tau ; F = 3.5[\text{cm}^2] \cdot 3 \left[\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right] ; F = 10.5 [\text{Kgf}]$$

Torque: $T = 10.5 [\text{Kgf}] \cdot 15 [\text{cm}]$ (Distancia máxima de las cuchillas)

$$T = 157.5 [\text{Kgf} \cdot \text{cm}]$$

Debido a que son dos cuchillas se multiplica por 2:

$$T = 315 [\text{Kgf} \cdot \text{cm}] = 30.89 [\text{N} \cdot \text{m}] = 273.4 [\text{L} \cdot \text{in}]$$

Con base al cálculo anterior, se buscó diseñar un tornillo que resista el torque calculado ($30.89 \text{ N} \cdot \text{m}$), pero manteniendo un bajo peso y costo. Por lo tanto, el análisis permitió concluir que los materiales para el tornillo de potencia (existentes en la región), de fácil mecanización y propiedades acorde a los requerimientos, son: Acero SAE 304, Polietileno de Alta Densidad (HDPE), Poliamida (PA) y Cloruro de Polivinilo (PVC rígido). A continuación, se enuncian las propiedades relevantes para el caso de estudio de los materiales mencionados:

Propiedades de los materiales						
Tipo de material	Densidad	Módulo de elasticidad a la tracción	Comercio en el mercado local	Resistencia a la fluencia	Alargamiento a la rotura	Temperatura de fusión
Acero 304	8.02 G/cm ³	600 MPa	Alta	206Mpa	45%	2550 °F
HDPE	2.55G/cm ³	743.0MPa	Alta	34MPa	660%	118 - 137°C
PA	1.15 G/cm ³	78Mpa	Media	85MPa	200%	220°C
PVC Rígido	1.42 G/cm ³	49.03Mpa	Media	55Mpa	> 20%	80°C

Es importante tener en cuenta que los diámetros calculados a continuación, para eje macizo y eje hueco, son diámetros mínimos que resistirán el torque de la herramienta, por lo tanto, la elección del diámetro final debe ser mayor a los calculados y dependerá de factores como la roscas por pulgada del tornillo y el paso de este, entre otros.

Según Robert L. Mott (2006) en su libro: Diseño de Elementos de Máquinas, cuarta edición, cuando un momento de torsión se aplica a un elemento, este tiende a deformarlo por torcimiento, lo cual causa una rotación de una parte del elemento en relación con otra. Este torcimiento provoca un esfuerzo cortante en el miembro. Cuando un eje redondo macizo y se somete a un par de torsión, la superficie sufre la máxima deformación cortante unitaria, por consiguiente, el esfuerzo de corte torsional máximo. Por esto, se calcula un esfuerzo cortante con un factor de seguridad 0.15 y la resistencia a la fluencia de cada material (S_y). A partir del modelo de esfuerzo cortante torsional máximo se despeja el radio (r), obteniendo así una dimensión mínima que resiste el troque necesario.

EJE MACIZO:

A partir del modelo de torsión en ejes se despejaron los radios mínimos en mm para cada material:

Esfuerzo cortante torsional máximo:

$$\tau = 0.15 \cdot S_y \quad \tau_{m\acute{a}x} = \frac{T \cdot r}{J} ; \text{donde,} \quad J = \frac{\pi \cdot D^4}{32}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{32 \cdot T \cdot r}{\pi(2r)^4} \quad \text{despejando } r \quad r = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T}{\pi \cdot \tau}}$$

ACERO 304:

$$T = 30.89 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad S_y = 206 \text{ [MPa]}$$

$$\tau = 0.15 * 206 = 30.9 \text{ [MPa]} = 30'900.000 \text{ [Pa]}$$

$$\text{reemplazando: } r = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 30.89}{\pi \cdot 30'900.000}}$$

$$r = 0,0086 [m] = 8.6 [mm]$$

$$D = 17.2 \text{ mm}$$

Se realizó el mismo procedimiento, para los demás materiales, reemplazando en cada uno la resistencia a la fluencia de cada material (S_y) (Apéndice N). A continuación, se muestra una tabla donde de resumen de los diámetros mínimos para un eje macizo que resiste un torque de $30.89[N \cdot m]$:

Tabla 2

Resumen de diámetros por material para eje macizo.

Material	Diámetros de eje macizo [mm]
ACERO 304	17.2
HDPE	31.3
PA	23.10
PVC rígido	26.7

A partir de los diámetros mínimos obtenidos, es pertinente seleccionar un diámetro mayor (Diámetro externo) para realizar los cálculos con eje hueco. Además, un paso de rosca grande, ya que, esta dependerá del número de vueltas que el usuario deberá realizar para completar la actividad. Por lo tanto, se decide la selección de un diámetro externo de 3 in (76.2 mm), con un paso de 0.5 in y 2 roscas por pulgada, según la tabla preferidos para roscas ACME (Mott, 2006):

Diámetro mayor nominal, D (pulg)	Roscas por pulg, n	Paso, $p = 1/n$ (pulg)	Diámetro menor mínimo, D_r (pulg)	Diámetro mínimo de paso, D_p (pulg)	Área al esfuerzo de tensión, A_t (pulg ²)	Área al esfuerzo cortante, A_s (pulg ²) ^a
1/4	16	0.0625	0.1618	0.2043	0.026 32	0.3355
5/16	14	0.0714	0.2140	0.2614	0.044 38	0.4344
3/8	12	0.0833	0.2632	0.3161	0.065 89	0.5276
7/16	12	0.0833	0.3253	0.3783	0.097 20	0.6396
1/2	10	0.1000	0.3594	0.4306	0.1225	0.7278
5/8	8	0.1250	0.4570	0.5408	0.1955	0.9180
3/4	6	0.1667	0.5371	0.6424	0.2732	1.084
7/8	6	0.1667	0.6615	0.7663	0.4003	1.313
1	5	0.2000	0.7509	0.8726	0.5175	1.493
1 1/8	5	0.2000	0.8753	0.9967	0.6881	1.722
1 1/4	5	0.2000	0.9998	1.1210	0.8831	1.952
1 3/8	4	0.2500	1.0719	1.2188	1.030	2.110
1 1/2	4	0.2500	1.1965	1.3429	1.266	2.341
1 3/4	4	0.2500	1.4456	1.5916	1.811	2.803
2	4	0.2500	1.6948	1.8402	2.454	3.262
2 1/4	3	0.3333	1.8572	2.0450	2.982	3.610
2 1/2	3	0.3333	2.1065	2.2939	3.802	4.075
2 3/4	3	0.3333	2.3558	2.5427	4.711	4.538
3	2	0.5000	2.4326	2.7044	5.181	4.757
3 1/2	2	0.5000	2.9314	3.2026	7.388	5.700
4	2	0.5000	3.4302	3.7008	9.985	6.640
4 1/2	2	0.5000	3.9291	4.1991	12.972	7.577
5	2	0.5000	4.4281	4.6973	16.351	8.511

^aPor pulgada de longitud de acoplamiento.

EJE HUECO:

A partir del modelo de esfuerzo cortante torsional máximo para ejes huecos, se despejaron los diámetros internos mínimos en mm para cada material en base a el diámetro externo (D) seleccionado en la tabla anterior:

Esfuerzo cortante torsional máximo:

$$\tau = \frac{T}{Z_p} \quad \rightarrow \quad Z_p = \frac{J}{c} \quad \rightarrow \quad J = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4) \quad y \quad c = \frac{D}{2}$$

$$Z_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16 \cdot D} \quad \text{reemplazamos:} \quad \tau = \frac{T \cdot \pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D}$$

Despejamos "d" para cada material reemplazando $D = 0,0762 \text{ m}$

$$d = \sqrt[4]{D^4 - \frac{16 \cdot D \cdot T}{\tau \cdot \pi}}$$

ACERO 304:

$$T = 30.89 [N \cdot m] \quad S_y = 206 [MPa]$$

$$\tau = 0.15 * 206 = 30.9 [MPa] = 30'900.000 [Pa]$$

$$\text{reemplazando: } d = \sqrt[4]{D^4 - \frac{16 \cdot D \cdot 30.89}{\pi \cdot 30'900.000}}$$

$$D^4 - \frac{16 \cdot D \cdot 30.89}{\pi \cdot 30'900.000} \geq 0$$

Reemplazado el diametro externo (D) seleccionado de la tabla 3:

$$d = \sqrt[4]{(0.0762)^4 - \frac{16 \cdot (0.0762) \cdot 30.89}{\pi \cdot 30'900.000}}$$

$$d = 0.0759798 \text{ m} \rightarrow d = 75.97 \text{ mm}$$

Del mismo modo, se calculó para los demás materiales, reemplazando en cada uno el tao (τ) y el diámetro externo (D) escogido previamente (Apéndice O). A continuación, se muestra una tabla donde se resumen los diámetros mínimos y el espesor de pared de un eje hueco que resiste un torque de 30.89 [N · m]:

Tabla 3

Resumen de diámetros por material para eje hueco.

Material	Diámetro externo (D) (mm)	Diámetro Interno (d) (mm)	Espesor de la pared (mm) T=D-d
ACERO 304	76.2	75.97	0.2
HDPE	76.2	74.83	1.3
PA	76.2	75.66	0.5
PVC rígido	76.2	75.36	0.8

De los resultados tabulados, según el análisis del círculo de Mohr para cilindros Mott (2006):

$$\begin{aligned} D/t < 50 & \text{ Pared DELGADA} \\ D/t < 20 & \text{ Pared GRUESA} \\ D/t > 50 & \text{ No se considera PARED} \end{aligned}$$

De la anterior, se puede determinar que ningún material propuesto, a partir de los diámetros resultantes, están dentro de un rango para considerarse pared, ya que para todos $D/t > 50$. De igual manera, estos valores son mínimos, es decir, su espesor puede aumentar y aun así seguiría resistiendo el torque, pero siempre teniendo en cuenta esta relación para que sea considerado pared. Esto nos lleva a seleccionar el HDPE, debido a su bajo costo y fácil acceso en la región, por ende, se propone un diámetro externo de 76.2 mm y un diámetro interno de 74 mm (2.91 in), para así contar con un eje hueco de pared delgada de espesor 2.2 mm, cumplimiento con $D/t < 50 = 34.63$.

Dado que el diámetro externo seleccionado en figura 62, fue 3 in con un paso de 0.5 in, se calculó el número de vueltas que realizará el usuario para desplazar el tornillo 20 cm (7.8 in):

$$\begin{aligned} p &= \frac{l}{n} \quad (l = 7.8 \text{ in}) \quad (n = \# \text{ de vueltas}) \\ 0.5 \text{ in} &= \frac{7.8 \text{ in}}{n} \quad \text{Despejamos } n: \\ n &= \frac{7.8 \text{ in}}{0.5 \text{ in}} = 15.6 \end{aligned}$$

Ya que se requiere 15.6 vueltas para desplazarse 20 cm (7.8 in), se decide usar una rosca de entrada triple para disminuir el número de vueltas, por lo tanto, $n=5.2$

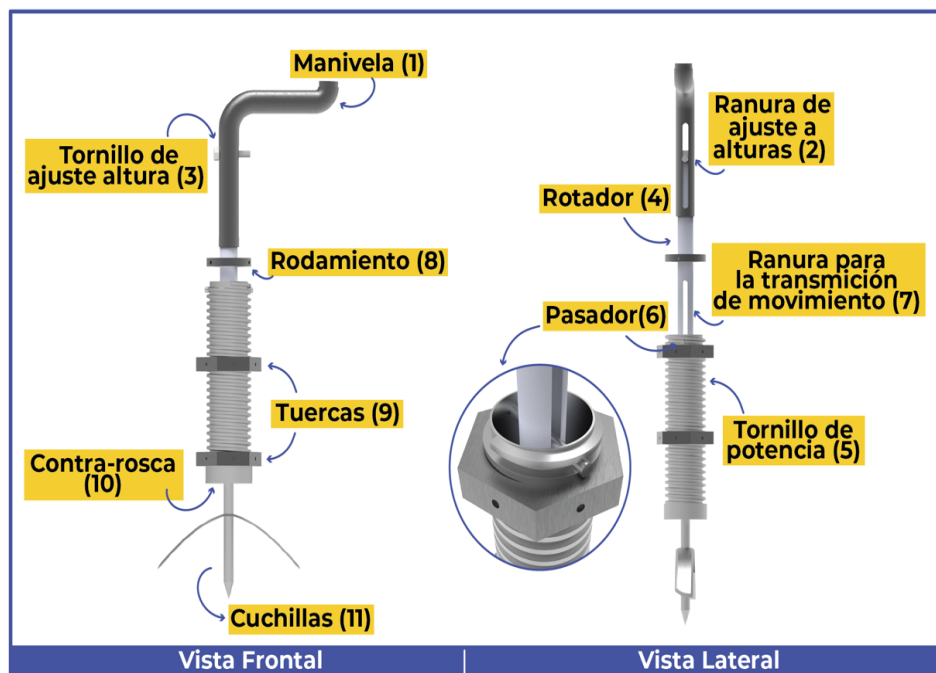
7.5.5.3. Rosca del tornillo de potencia. Teniendo definido el material (HDPE) se calculan las especificaciones en detalle de la rosca del tornillo de potencia (Apéndice P) y se enlistan a continuación:

- Paso: $P=0,5\text{in}$

- Diámetro de raíz: $D_r=3\text{in}$

- Diámetro de cresta: $D_c=3.26\text{in}$
- Avance: $L=1.5$ (Entrada triple)
- Diámetro primitivo: $D_p= 3\text{in}$
- Ángulo de avance: $\alpha=9.04^\circ$
- Ángulo de rosca: $\beta^*= 29^\circ$ - *Según norma ACME.
- Coeficiente de fricción del HDPE: $\mu=0,25$
- Ángulo de fuerza normal: $\theta_n=14.41^\circ$
- Peso del tornillo bajando: $W= -496.93$ Lb
- Peso del tornillo subiendo: $W=257.89$ Lb
- Longitud máxima: $L=19.79$ m

7.5.5.4. Elementos del mecanismo. A partir de todos los apartados anteriores del sistema mecánico, se establecieron fundamentos claros y especificaciones técnicas para plantear el mecanismo del dispositivo de labranza. A continuación, se enuncia todos sus 11 elementos:



En la parte superior, se encuentra el elemento de entrada o accionamiento, la **manivela (1)** (Figura 63), la cual cuenta con una **ranura para el ajuste de la altura (2)**. Mediante el **tornillo**

de ajuste de altura (3) se transmite el movimiento al rotador (4) principal, que conecta la manivela y el tornillo de potencia (5), por medio de un pasador (6), el cual, a su vez, le da el



límite de desplazamiento a este por medio de la ranura para la transmisión del movimiento (7), es decir, se desliza 20 cm. Este pasador está soldado al tornillo de potencia, para que el rotador gire, pero no se desplace, y así la manivela siempre mantenga la altura deseada por el usuario durante toda la actividad (Figura 64). El rotador cuenta con un rodamiento (8), cuyo fin es ayudar a realizar el giro y además mantener concéntrico todos los ejes a medida que se le aplique fuerza. Lo mismo sucede al ubicar dos tuercas (9) fijas a lo largo del tornillo de potencia. Mediante una contra-rosca (10), se ensambla las cuchillas (11) en la parte inferior del tornillo, dado que no pueden ser soldadas por la diferencia de materiales, ya que el tornillo es de plástico y las cuchillas en metal.

Ciertos elementos usados en el mecanismo son piezas normalizadas en el mercado, excluyendo las cuchillas y el tornillo de potencia junto con sus respectivas tuercas, ya que requería de parámetros específicos, en cuanto al número de vueltas, material y su geometría (eje hueco). Los planos técnicos y el despiece del sistema se encuentran en el apéndice Q.

El elemento de corte fue fabricado en Acero A36 a modo de prototipo. En la figura 65 se muestra una secuencia del movimiento realizado sobre terreno blando, evidenciando penetración de las cuchillas, realizando remoción donde la punta de estas dejaba un hueco del espesor del eje, en el cual los usuarios podrían realizar la siembra, es decir, ejecutando la tarea de hoyar el terreno de formar similar a como es realizado con la barreta.



7.6. Sistema: Usabilidad – Formal estético

Teniendo en cuenta los requerimientos humanos y formales planteados en la tabla 1 se buscó analizar aspectos fundamentales para encontrar y determinar los elementos de un producto final, basado en la elección y satisfacción del usuario. Los aspectos tenidos en cuenta para dar forma al dispositivo fueron:

- **Postura del usuario**

Para accionar la herramienta, el usuario se debe encontrar de forma erguida con sus dos brazos en posición de extensión, donde el brazo dominante, el cual es el que realiza el movimiento para ejecutar la actividad (manejo de la manivela), debe encontrarse a una postura determinada, es decir, con un ángulo máximo de 35° entre la línea central del hombro y el brazo, con el fin de evitar posibles patologías por la frecuencia con la que se realiza la actividad.

Figura

Para que el usuario mantenga esta postura, el dispositivo le debe indicar la forma determinada de agarre, es por ello se evaluó la comodidad y la eficiencia, mediante un sistema de agarre (Figura 66) que buscan condicionar la postura del brazo dominante a los requerimientos con los cuales fueron diseñados, donde mediante la experiencia del usuario se podrá validar el lenguaje que esta expresa y a su vez la comodidad durante la actividad.



- **Visibilidad y estabilidad**

Es determinante para el usuario reconocer que la herramienta está realizando la actividad, es un proceso que hace parte de la retroalimentación permitiendo identificar si se ejecuta de forma adecuada, de modo que mediante el uso de una base con tres apoyos (Figura 67) se pretende generar un campo visual que le permita identificar al trabajador la realización de la tarea, también se busca mediante este elemento dar estabilidad y debido a los cortes realizados en cada apoyo, generar una fuerza adicional a modo de soporte, para evitar que al accionar la herramienta esta se levante por el desplazamiento del tornillo.

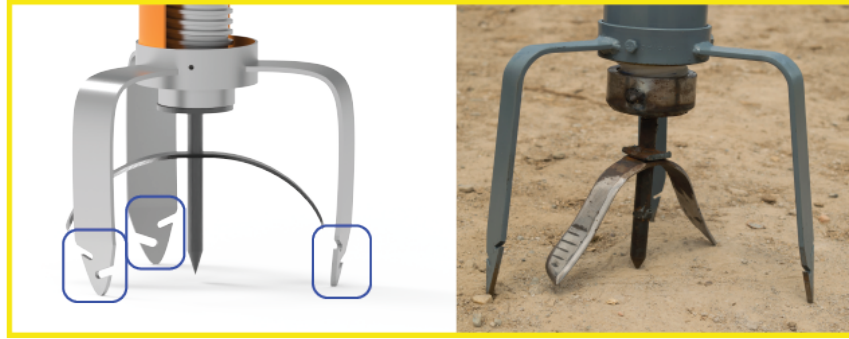
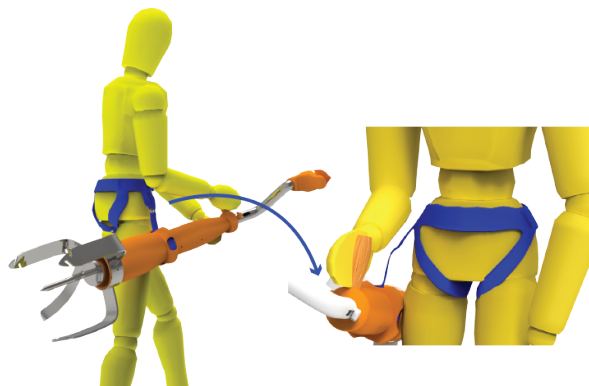


Figura 67. Render y prototipo del sistema de visibilidad y estabilidad

- Transporte

En el diseño de la herramienta se estableció que su peso no superará los 3Kg (Tabla1) según los requerimientos planteados, es por ello que la misma se puede transportar de forma manual sin



considerarse como carga y que pueda afectar al usuario, es por ello que se propuso un sistema de transporte tipo arnés como se muestra en la figura 68, debido a que el prototipo construido para validar el mecanismo no cumplía los parámetros de peso (el material no es el mismo al planteado como final), no fue posible validarlo. Sin embargo, el sistema que aquí se ilustra cumple para ser aplicado en un diseño final de la herramienta, teniendo en cuenta los estándares de peso ya indicados previamente.

- Ajuste de altura e inclinaciones

Teniendo en cuenta las diferentes pendientes de los terrenos en Santander, y la antropometría en los usuarios a los que va dirigido la herramienta, se determinó un sistema que permite adaptar la herramienta a estas dos necesidades mediante el ajuste libre de la altura. El análisis de la literatura determinó un diseño de pinza para realizar esta actividad. Se buscó identificar aspectos como comodidad y usabilidad para este diseño, con el fin de identificar si el mismo permite realizar la función secundaria de forma rápida y sin molestias.



7.7. Materiales según la Metodología ASHBY

Esta metodología permite optimizar el proceso de diseño mediante la selección apropiada del material para la aplicación que va a tener el mismo (Jaimes, y López, 2002). Según ASHBY la función de la pieza dicta la elección del material y la forma del objeto, manteniendo relaciones bidireccionales, es decir, el diseño de la forma limita que tipo de material se debe usar, pero a su vez el proceso de maquinado limita los materiales que se pueden usar y al mismo tiempo la forma que puede tomar (Ashby, 2005). Dicho análisis se describe detalladamente en el apéndice S.

Para el diseño de cuchillas, se tuvo en cuenta aspectos como la dureza en función de la relación de la tasa de desgaste, donde se obtuvo materiales como aleaciones de carbono, aluminio o aceros

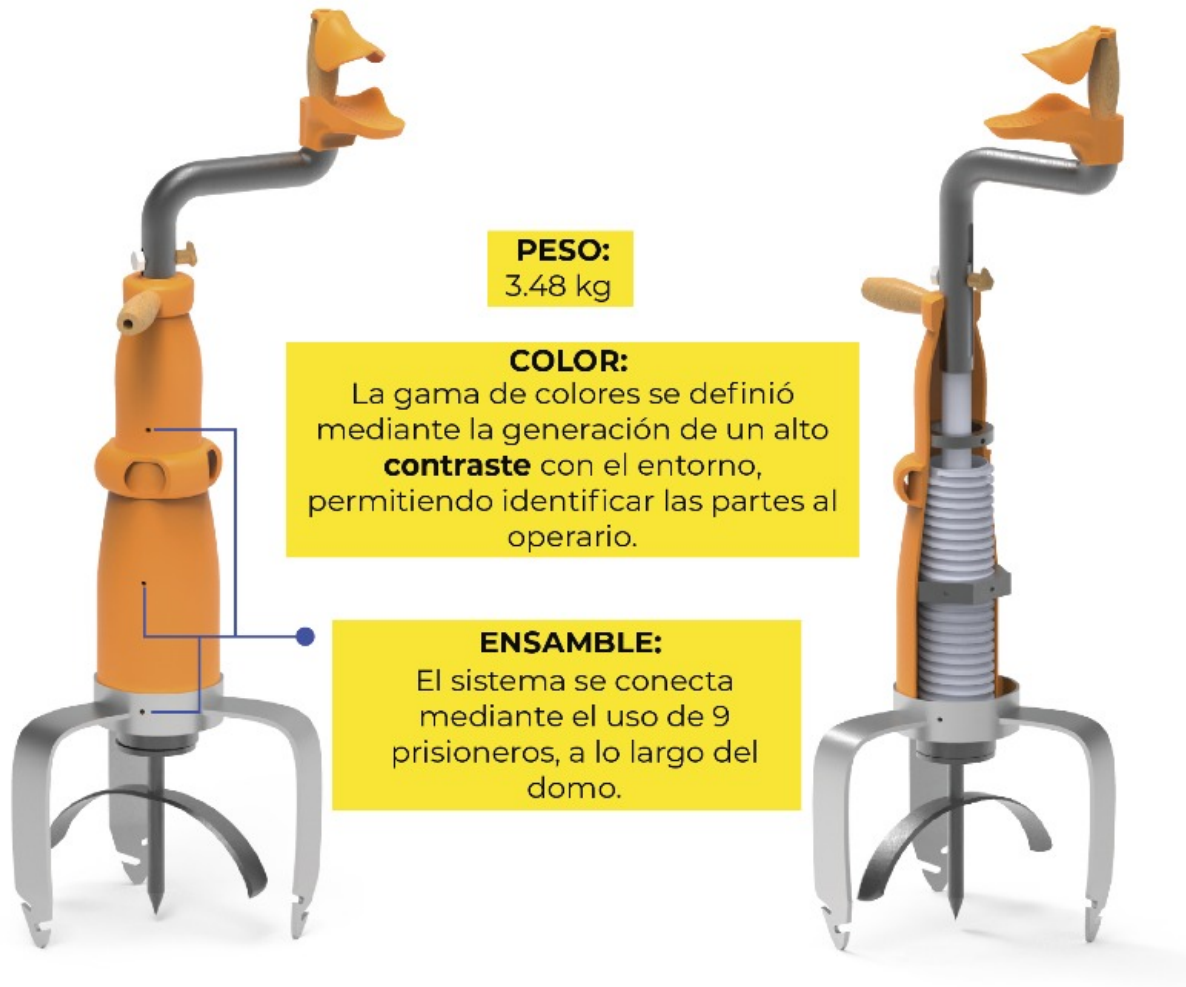
con porcentajes de carbono. Otro aspecto importante para la selección de este material fue el costo por unidad de volumen en función del módulo de elasticidad, donde se reduce la lista de materiales a acero inoxidable y aleaciones de aluminio, así como estos mismos fueron el resultado de la figura 3 del apéndice S, donde se evaluó la densidad buscando tener bajo peso en el elemento.

El proceso para el diseño de la selección del material de los ejes rotacionales fue similar, usando en primera instancia la gráfica de relación de fuerza - módulo de elasticidad, donde se obtiene aceros o aleaciones de aluminio, respaldando esta selección con las figuras 4 y 5 del apéndice S.

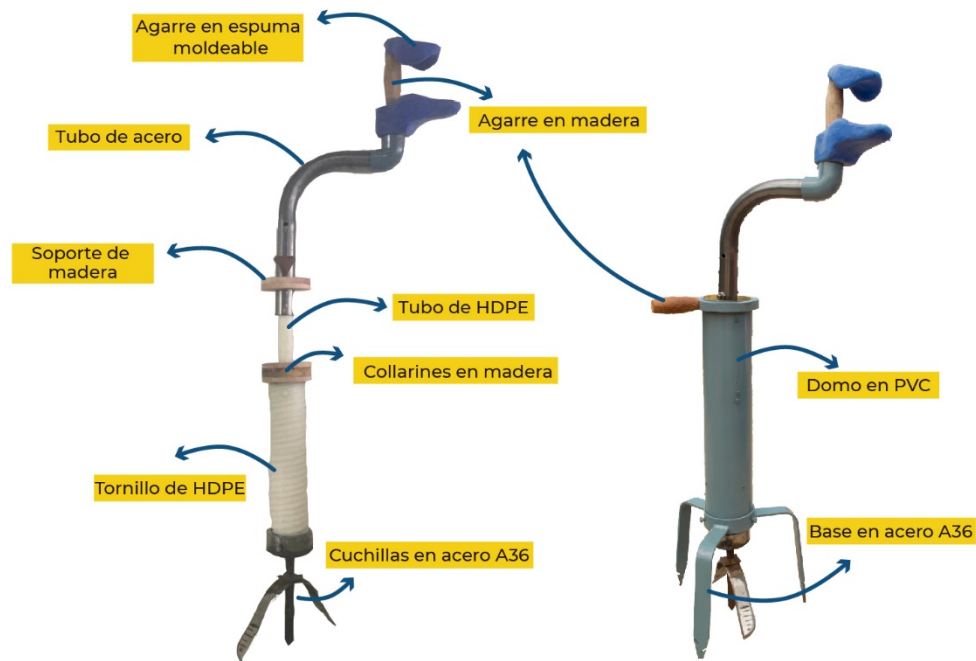
Debido a la compleja geometría de la carcasa los materiales fueron seleccionados como se resume en la tabla 1 del apéndice S, donde se elige el polipropileno por presentar las mejores propiedades.

7.8. Verificación e integración de la propuesta

Con base en los aspectos manejados anteriormente, se plantea el concepto de diseño final. La figura 70 muestra el prototipo funcional utilizado para las pruebas de verificación. Asimismo, se realizó una encuesta de interpretación y satisfacción al usuario. En la siguiente figura se enuncian ciertas especificaciones del concepto final no mencionadas anteriormente:



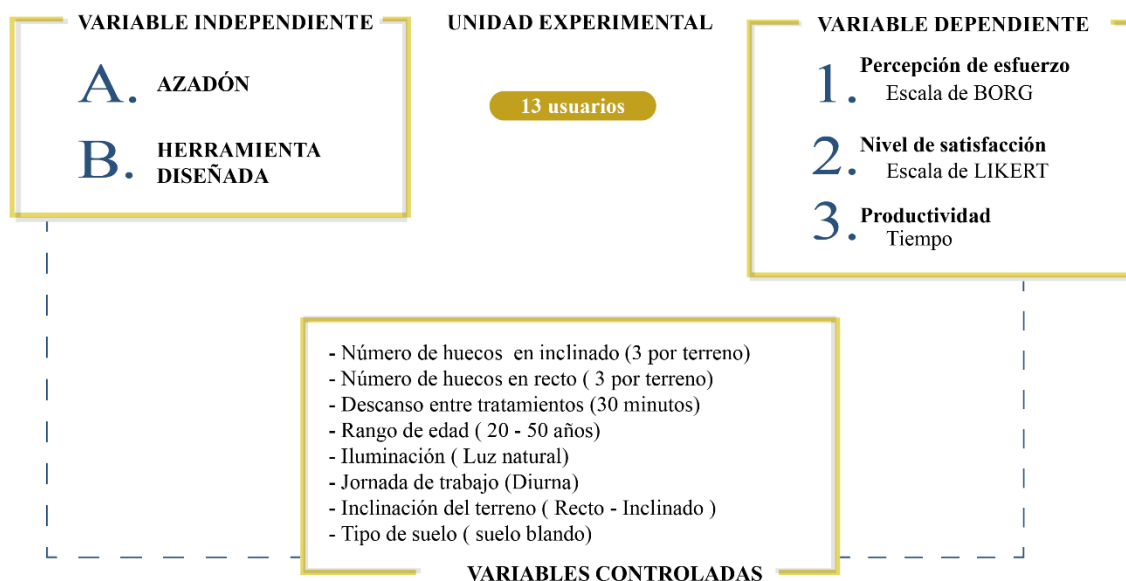
En la construcción de un prototipo funcional (Figura 71) se limitaron los materiales planteados debido al costo y a la disponibilidad de maquinaria, de este modo fue fabricada haciendo uso de elementos como madera, tubos de acero, tubos de polietileno de alta densidad y espuma moldeable.



El peso del prototipo resultante de 9 Kg afecta la evaluación por parte del usuario en el aspecto de transporte, ya que será más difícil moverlo, por lo tanto, se decidió no evaluarlo. Así mismo la combinación de materiales podría afectar la prueba, dándole calificaciones negativas al dispositivo, por ello la prueba se realizó bajo condiciones controladas de suelo, es decir, suelos muy blandos para todos los usuarios, buscando siempre medir la percepción que el campesino tiene con relación al uso de la herramienta. Así el control de la dureza del terreno, tanto para el uso de la herramienta tradicional (azadón) como para la diseñada, permite eliminar el sesgo que puede presentarse debido a la percepción de esfuerzo y que influye también en la satisfacción.

7.8.1. Encuesta de satisfacción e interpretación. El objetivo de la aplicación de la encuesta de satisfacción e interpretación es determinar el nivel de satisfacción del usuario en ciertos parámetros (agarres, visibilidad, complejidad, estabilidad y funcionalidad), la percepción de

esfuerzo y la productividad, mediante la recolección de datos. A partir de esto, se planteó el siguiente esquema del experimento:



- Factores de inclusión

Género: Hombres

Edad: 20-50 años

Nivel académico: Ninguno

Experiencia en la actividad de cultivo de yuca

- Factores de exclusión

Personas con lesiones severas

El formato de la encuesta su procedimiento y la aleatorización de los tratamientos se explican en el apéndice S.

7.8.1.1. Resultados de la prueba

7.8.1.1.1. Percepción de esfuerzo

De la escala de Borg se determinó una mayor percepción de esfuerzo por parte de los participantes (N=13) cuando terminaba la actividad con la herramienta tradicional (azadón), ya que como se observa en la figura 73, esta tuvo un promedio de 6 (más pesado), a diferencia de la herramienta diseñada con un promedio de 3,53, es decir, entre un esfuerzo ligero y algo pesado evidenciado de forma directa la significativa mejora en la postura y la disminución de fatiga durante la actividad.



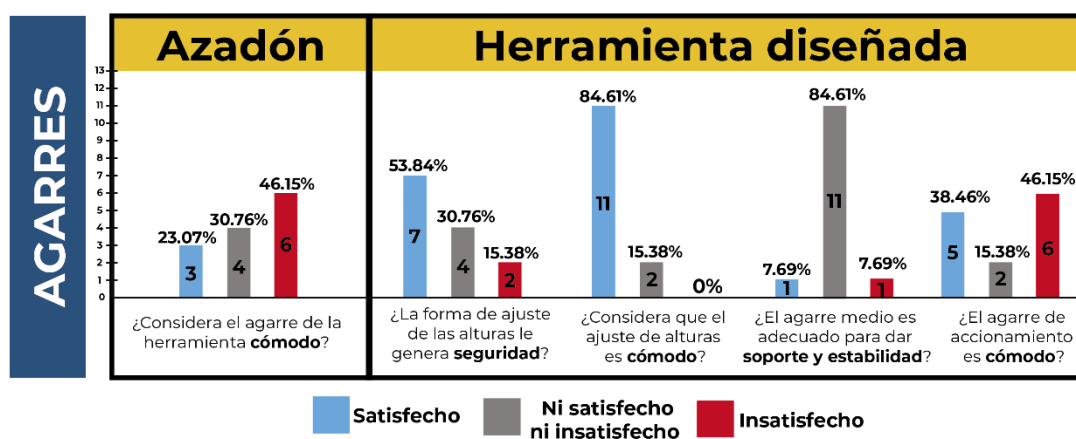
7.8.1.1.2. Nivel de satisfacción

Debido a la implementación de nuevos conceptos incluidos en la herramienta diseñada, fue necesario realizar previamente a la encuesta, una descripción de los componentes de esta (Figura 74), donde se indicó y explicó los agarres y sus movimientos, entre otros, con el fin de que el encuestado comprendiera mejor las preguntas realizadas y estuviese familiarizado con esta, para obtener resultados que permitan ser comparados con la herramienta tradicional (azadón). La

encuesta fue realizada a cada uno de los usuarios, después del uso de cada una de las dos herramientas.

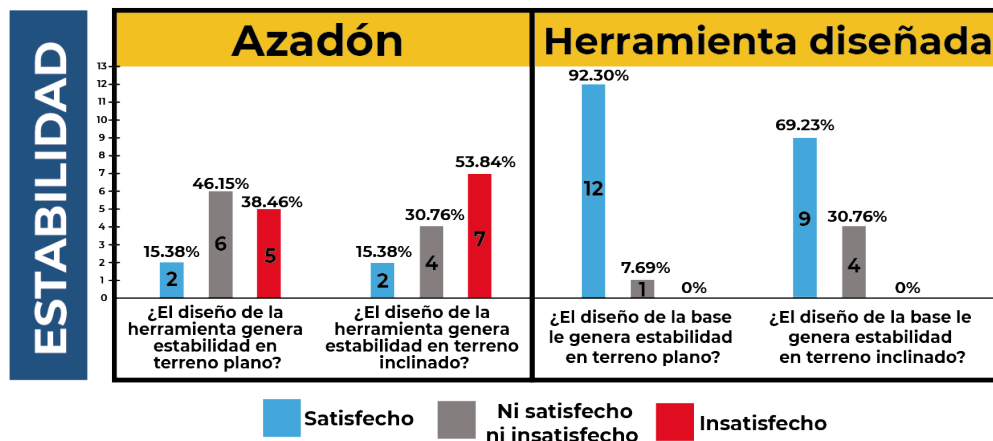


Inicialmente en el proceso de las entrevistas se obtuvieron resultados para la herramienta tradicional (azadón), donde un 46.15% (Figura 75) de los encuestados, es decir, 6 de ellos respondieron que se sentían insatisfechos respecto a la comodidad del agarre de la herramienta. Se considera que el resultado obtenido es debido a que el mango del azadón tiene sección transversal circular recta, de aproximadamente 5 a 6 cm de diámetro de madera o metal, en donde, el primer material, debido a los impactos y fuerza aplicada, se astilla generando molestias, el segundo dado a la exposición a las altas temperaturas de trabajo, se calienta.

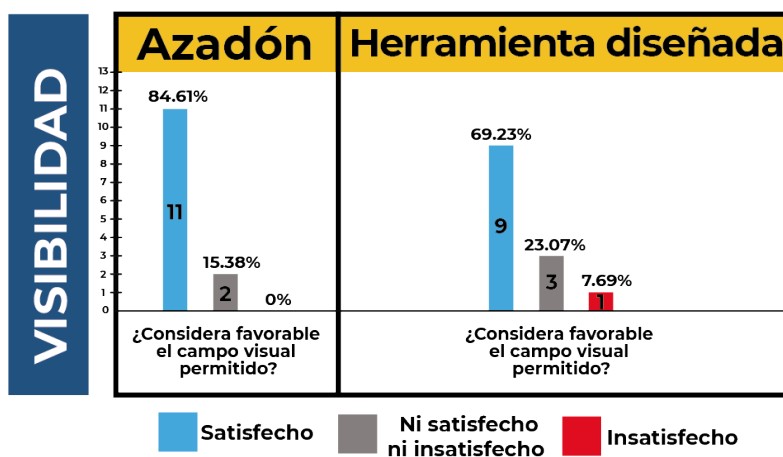


Para evaluar los agarres propuestos en la herramienta diseñada se realizaron preguntas teniendo en cuenta, para cada uno, el factor predominante, como la comodidad, la seguridad, o el soporte. Se obtuvo un nivel alto (satisfecho) para el diseño del agarre de ajuste de alturas de la herramienta, relacionado con el tema de seguridad y de comodidad (Figura 75). De igual forma, el elemento de agarre medio no influyó en la estabilidad de la herramienta, ya que el 84,61% de los encuestados respondieron que no se encontraban ni satisfechos ni insatisfechos con el mismo. Referente al agarre de accionamiento los usuarios expresaron su inconformidad (46,15%) debido a confusiones que este presentaba al usar la herramienta puesto que cohibían, en alguna instancia, el movimiento, sin comprender la función de este.

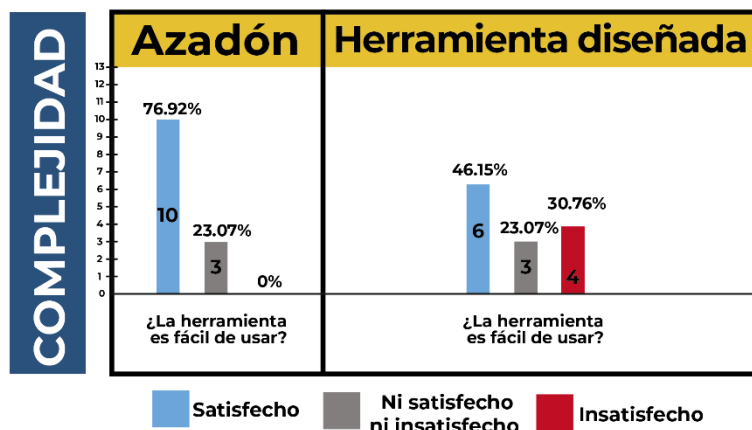
Otro aspecto evaluado en ambas herramientas fue la estabilidad que las mismas proporcionan durante la actividad. Respecto a la pregunta *¿El diseño de la herramienta tradicional (azadón) genera estabilidad en terreno plano?*, un 46,15% es decir 6 de los encuestados no se encontraban ni de acuerdo ni desacuerdo con la misma y un 38,46% se encontró insatisfecho (Figura 76), expresando a su vez que la herramienta no le proporcionaba un valor agregado respecto a este parámetro y dependía de la postura que el usuario adaptara. De igual forma sucedida en terreno inclinado, un 53,84% se encontraba insatisfecho (Figura 76), ya que al tener el terreno cierta inclinación, la actividad era más insegura o inestable. Los resultados para la herramienta diseñada



en este aspecto, en ambas circunstancias, tanto terreno plano como terreno inclinado, fue calificado como “satisfecho”, dado a que su base de sustentación está apoyada en tres puntos, formando un triángulo, además, sus terminaciones en punta ayudaban a penetrar y anclar la herramienta a la tierra, generando estabilidad. Adicional, los encuestados expresaban su aprobación a la característica que la herramienta podía mantener la misma posición, aun así, ellos tuvieran que soltarla por alguna circunstancia externa.



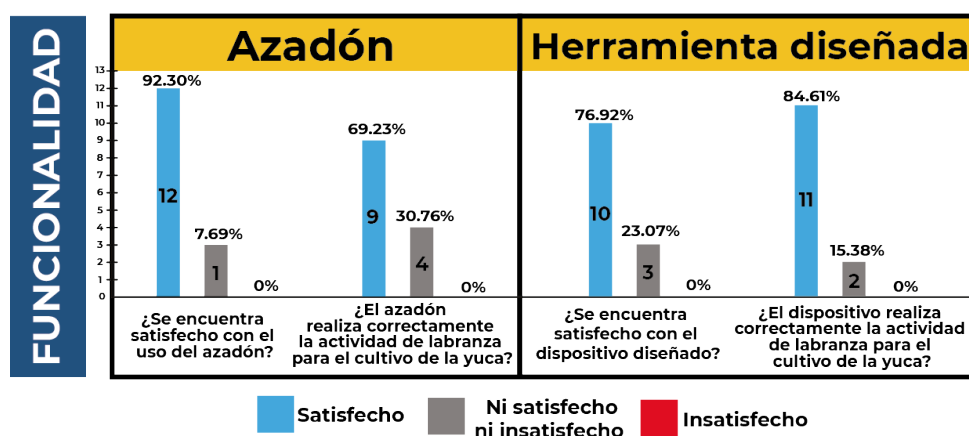
Para la visibilidad del campo de acción en la herramienta tradicional (azadón), los usuarios se encontraron “satisfechos” (84,61%), ya que expresaron que con la herramienta tradicional verificaban y validaban en tiempo real, es decir, mientras ejecutaban la actividad, observaban la misma, de igual forma, comentaron la capacidad de esta para controlar los movimientos al direccionar la herramienta. De igual forma, un 69,23% de los encuestados es decir 9 de ellos, calificaron como “satisfecho” la visibilidad permitida por la herramienta diseñada de la actividad (Figura 77), ya que la capa superior de la tierra se movía constantemente lo que generaba retroalimentación del movimiento de entrada, esto se permitía debido al espacio entre cada pata de la base, aun cuando expresaban inconformidad en la herramienta al no controlar la direccionalidad.



Con relación a la complejidad del uso de la herramienta tradicional el 76,92% (Figura 78) de los encuestados se encontraban “satisfecho” con el azadón. Así mismo cuando se cuestionó sobre la complejidad de la herramienta diseñada, se evidenció que los usuarios relacionaron el movimiento de accionamiento con elementos de uso diario, permitiendo evaluarla de forma positiva (46,15%), además, la misma presenta un modelo mental sencillo (ajustar altura-accionar herramienta) para iniciar la actividad, donde estos dos se realizan de forma convencional, logrando ser identificadas y asociadas por el usuario con elementos ya existentes. En este punto, el uso prolongado de la herramienta puede ser un factor que sesge los resultados. Se esperaría que en un estudio posterior de tipo longitudinal, los resultados con la nueva herramienta mejorarían. Sin embargo, considerar que casi la mitad de los campesinos encuestados consideraron este aspecto positivo, es un buen indicador.

Dando respuesta a la pregunta *¿Se encuentra satisfecho con el uso del azadón?* un 92,30%, es decir, 12 usuarios se indicaron “satisfecho” (Figura 79) con el azadón, mencionando que ha sido usada por muchas generaciones en el área de agricultura, gracias a la simplicidad de uso y la eficiencia de esta.

Cuando se preguntó acerca de la actividad de labranza, un 69,23% (Figura 79) de los encuestados se encontraban satisfechos con los resultados finales de la herramienta tradicional (azadón), debido a la facilidad, y al control total del movimiento. Sin embargo, el usuario identificaba el gran esfuerzo requerido para realizar esta actividad, aun existiendo otros mecanismos más rápidos, pero de gran tamaño y que no se adaptaban a terrenos en los cuales ellos cultivaban la yuca (irregulares, combinación de varios cultivos), tales como los tractores, por tanto, la única alternativa es el azadón.



Respecto a la funcionalidad de la herramienta diseñada, es decir, la satisfacción con relación al diseño y la eficiencia con la que lleva a cabo la actividad fue calificada de forma positiva en ambos aspectos. Los usuarios (10 y 11 respectivamente) la evaluaron “satisfecho”, debido a que mostraron gran aceptación, puesto que no requería de gran complejidad para ser usada y expresaban su conformidad con el resultado final de la tierra.

De lo anterior se puede concluir que para la herramienta tradicional (azadón), los aspectos como la visibilidad durante la actividad, la baja complejidad y la eficiencia de la herramienta fueron evaluados de forma positiva por el encuestado, a diferencia de los agarres y la estabilidad en terrenos inclinados o planos, que generan insatisfacción en los usuarios.

A diferencia de la herramienta diseñada que obtuvo respuesta positiva “satisfecho” en varios aspectos como: Seguridad del agarre de alturas, comodidad del agarre de alturas, comodidad del agarre de accionamiento, estabilidad de la herramienta para terrenos planos e inclinados, visibilidad, satisfacción del dispositivo y eficiencia de esta.

7.8.1.1.3. Productividad

Para la medición de la productividad, se cronometró el tiempo que requería el usuario en cada una de las 6 actividades de preparación de la tierra para sembrar con azadón y 6 con la herramienta diseñada, obteniendo así un promedio de cada una en función de la inclinación del terreno. En la figura 80 se identifica una diferencia de 26 segundos entre ambas herramientas para terreno recto, tardando más tiempo cuando se realizaba con la herramienta tradicional. En terreno inclinado se evidencia de igual forma una disminución de tiempo durante el transcurso de la actividad obteniendo un promedio de 91,78 segundos para la herramienta diseñada, es decir 24 segundos menos que el tiempo gastado con un azadón por cada mata.



Por parte de las encuestadoras se realizaron anotaciones respecto a la usabilidad de la herramienta, permitiendo así identificar aspectos a mejorar, por ejemplo, con relación a los intentos para ajustar la herramienta a la altura del usuario se encontró facilidad, ya que manejaban el espacio que ella generaba de forma adecuada, es decir, al tenerla frente a ellos y observar que se encontraba más alta, ajustaban la herramienta a la altura de cada uno, puesto que la herramienta le permite un amplio rango para hacerlo.

Sin embargo, el elemento de agarre de accionamiento que indicaba la forma correcta de posicionar la muñeca cohibía al participante ya que incomodaba cuando no estaba bien ubicada, por tanto, debían corregirlo en varios intentos (Figura 81). Aun así, la finalidad de este sistema era ese, tener una única forma para ajustar la mano sin generar incomodidades, siendo así, cuando estaba en la posición errónea generaba molestias en el participante requiriendo un nuevo intento. Sin embargo, es necesario pensar en un mecanismo que limite el número de errores.



Los usuarios asociaron el movimiento de accionamiento con otros elementos que usan constantemente, siendo fácil accionar la herramienta diseñada, además, que la misma tiene un límite que indica hacia qué dirección debe comenzar la actividad y otro que indica el máximo

desplazamiento, obligando a devolver el movimiento. No obstante, cuando el usuario desplazaba completamente la herramienta (20 cm) y esta no retrocedía, el usuario la desanclaba halándola, desenterrándola de manera forzada. Este aspecto debe tenerse en cuenta para diseños futuros.

En otro aspecto, durante el desarrollo de las encuestas se evidenció que, al finalizar la actividad, el usuario indicaba que el hueco dejado por el eje de la herramienta funcionaba para sembrar la semilla de la yuca, es decir, también permite realizar la tarea de hoyar.

Del acercamiento del producto con el usuario se determinaron mejoras para el diseño de la herramienta, las cuales se enlistarán a continuación:

-Se propone que el sistema de cuchillas sea intercambiable, mediante el método contra-rosca, buscando instalar un elemento que realice una acción diferente como perforar, remover terreno para otro tipo de cultivo, entre otras.

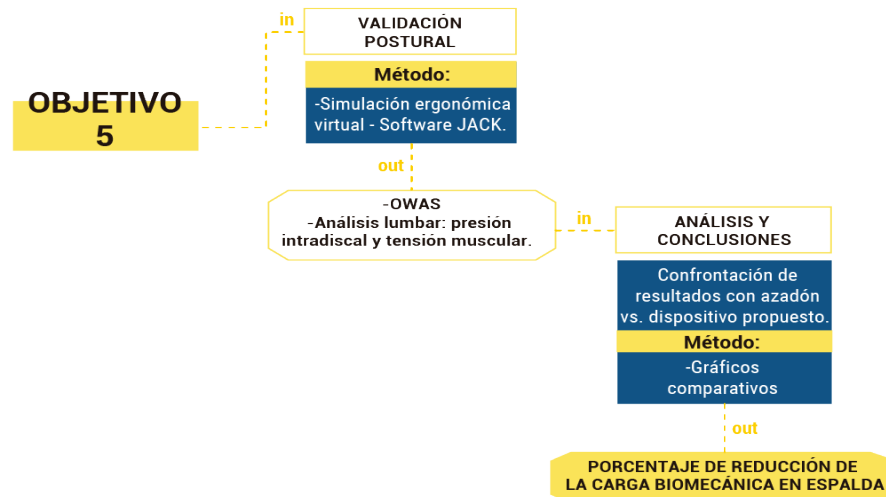
-De las inquietudes dadas por el usuario se pudo identificar la necesidad de incorporar un método que evite el movimiento giratorio de las cuchillas y el eje mientras se transporta la herramienta, a modo de seguro.

-Para prevenir un desgaste prematuro del sistema, se identificó la necesidad de evitar que ingrese suciedad al tornillo cuando este se encuentra fuera de la carcasa, por lo que se propone un elemento adicional incrustado a la carcasa y a la base de las cuchillas que se extienda la longitud (20cm) del tornillo y a su vez no gire.

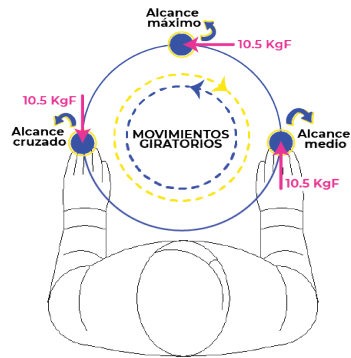
8. Validación Ergonómica del Dispositivo

El último capítulo documenta el cumplimiento del quinto objetivo específico. Para esto, se realizaron las tareas (in) expuestas en el diagrama (Figura 82), donde el resultado (out) más significativo fue darle respuesta a la pregunta de diseño.

El objetivo principal de esta etapa fue evaluar las posturas del dispositivo planteado, validando las mejoras ergonómicas propuestas y comparar estos resultados con los obtenidos en el apartado 6.1.2.3, que consistió en el análisis realizado haciendo uso de las herramientas tradicionales.



Como se observa en el diagrama de uso establecido en el ítem 8.3.3 más adelante (Figura 92), las tareas de limpieza de terreno y remoción fueron simplificadas requiriendo el mismo movimiento giratorio por parte del usuario para su ejecución. Por lo tanto, se escogieron tres posturas críticas del mismo movimiento (Figura 83): en alcance medio, alcance máximo y alcance cruzado para realizar una comparación directa con el mismo. Cabe resaltar que todas las posturas fueron analizadas tanto en terreno plano como en inclinado. Para la simulación de cada postura se emplearon las mismas medidas antropométricas usadas en el apartado 6.1.2.3, es decir, una altura promedio de 167 cm, un peso promedio de 68 Kg y una edad promedio de 39.3 años (Apéndice B) (Maradei, Ardila y Sanabria, 2016). En este caso, la fuerza requerida por parte de usuario para accionar la herramienta y romper el suelo es de 10.5 KgF, calculada a partir de la ecuación de esfuerzo cortante (Apartado 7.5.5.2), la cual va cambiando de dirección a medida que realiza el giro, como se evidencia en la figura 83.



A continuación, se muestran los resultados obtenidos del método OWAS y el análisis lumbar: presión intradiscal y tensión muscular para las posturas en terrenos planos y terrenos inclinados:

Figura 83. Posturas

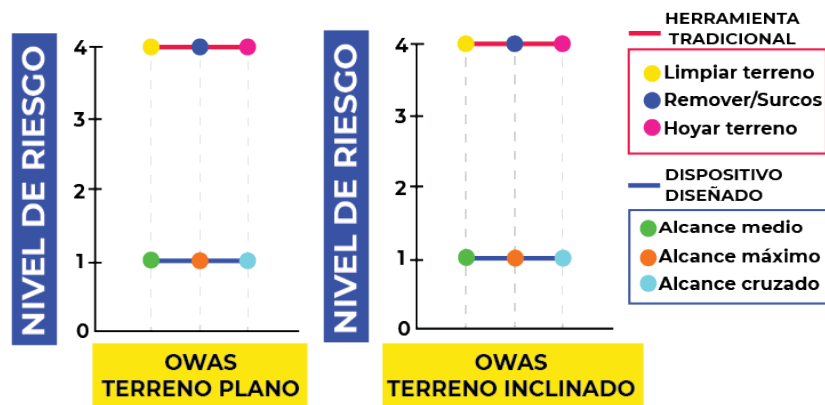


En términos generales, la ejecución de actividad con la herramienta diseñada presenta un nivel de riesgo de 1 en ambas condiciones de terreno, es decir, la carga postural es aceptable, manteniendo una postura de trabajo normal y natural a lo largo de la actividad sin requerir ninguna

acción correctiva. Estas obtuvieron una puntuación de compresión en la espalda baja (L4/L5) en un rango de 413 N a 868 N, lo cual indican que están muy por debajo de la escala de NIOSH cuyo límite es 3400 N para la compresión intradiscal.

8.1. Análisis de la simulación ergonómica virtual 3D

La validación ergonómica realizada mediante simulación virtual en el software Jack Siemens, mostró resultados favorables con respecto a los análisis realizados anteriormente (Apartado 6.1.2.3). En la figura 85, se observan los resultados de la aplicación del método OWAS para la actividad mediante el método tradicional (azadón) y la actividad con la herramienta diseñada.

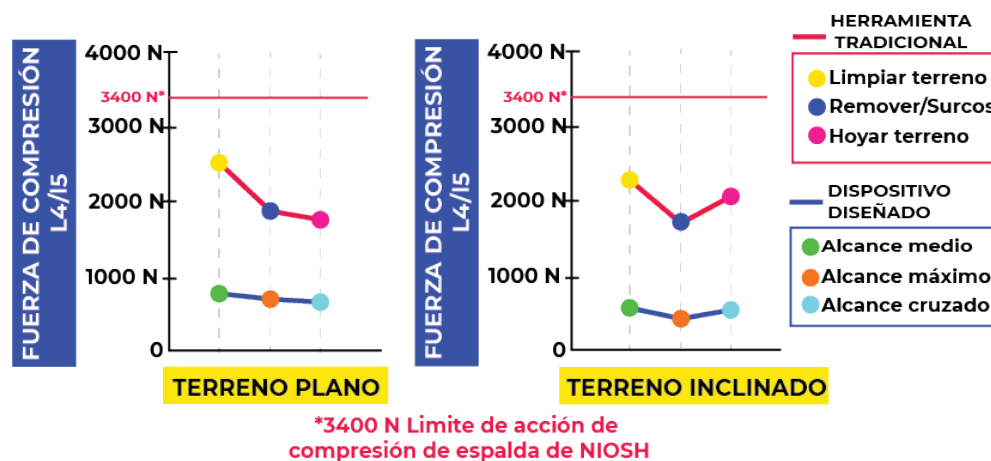


A partir del gráfico anterior, se evidencia una mejora significativa dado que todas las posturas evaluadas para la realización de la actividad obtuvieron con un nivel de riesgo de 4 (riesgo máximo) mientras que con el dispositivo diseñado cuenta con una penalidad de 1, es decir, no presentan riesgo significativo para la salud.

Por tanto, se puede concluir que con respecto al método OWAS, el cual permite la valoración de la carga física derivada de las posturas adoptadas durante el trabajo, se mejoraron en un 100%,

ya que se obtuvieron los mejores resultados posibles con las mejoras realizadas en términos posturales para la actividad de labranza para el cultivo de la yuca.

Respecto a la fuerza de compresión intradiscal (Figura 86) producida durante la actividad, se evidencian resultados positivos, además, en las dos condiciones de terreno, con el dispositivo diseñado, se mantuvo un rango similar: plano de 608N a 868N y en inclinado de 413N a 596N, siendo este último menor. Aun así, ninguno superó los 1000N mientras que, con la herramienta tradicional, todas las posturas están por encima de esta magnitud, pero sin alcanzar el límite de NIOSH que es 3400N.



Para dar solución a la pregunta de diseño anteriormente planteada: *¿En cuánto se reduce la carga biomecánica en espalda y hombros para los agricultores al momento de realizar la actividad de labranza para el cultivo de yuca en Santander, con el dispositivo diseñado en comparación con el método tradicional?*, se realizó un promedio de los resultados obtenidos para la fuerza de compresión intradiscal expuestos en la figura 87 para así realizar una interpolación lineal, con el fin de determinar el porcentaje de mejora entre las dos herramientas.

DISPOSITIVO DISEÑADO	Alcance medio	Alcance máximo	Alcance cru zado	PROMEDIO	PLANO INCLINADO
	532 N 596 N	406 N 413 N	672N 517 N	536.6 N 508.66 N	
HERRAMIENTA TRADICIONAL	Limpiar terreno	Remover/Surcos	Hoyar terreno	PROMEDIO	PLANO INCLINADO
	2471 N 2364 N	1853 N 1776 N	1707 N 2027 N	2008.33 N 2055.66 N	

Utilizando la ecuación $y=mx+b$, en donde x es considerada como el valor del promedio de la fuerza de compresión intradiscal en newtons obtenida en las 3 posturas evaluadas y y como el valor porcentual de la carga. Por lo tanto, se tomó como fuerza máxima 3400 N (límite de NIOSH), lo cual representa un valor porcentual de 100% y fuerza mínima de 1N que corresponde a un valor porcentual del 0%, es decir:

$$\begin{aligned}x_1 &= 1 \rightarrow y_1 = 0 \\x_2 &= 3400 \rightarrow y_2 = 100\end{aligned}$$

Por lo tanto, de la ecuación anterior se despeja m y b :

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{100 - 0}{3400 - 1} = 0.029$$

Cuando $y=0$, tenemos:

$$0 = (0.029)(1) + b \rightarrow b = -0.029$$

A partir de lo anterior, para el terreno plano tenemos:

- **Herramienta tradicional:**

$$y = (0.029)(2008.33) + (-0.029) = 58.2\%$$

- **Dispositivo diseñado:**

$$y = (0.029)(536.6) + (-0.029) = 15.5\%$$

Como resultado se obtuvo, para la herramienta tradicional, un 58.2% de carga y un 15.5% con el dispositivo diseñado. Esto se traduce en que la carga biomecánica en espalda se redujo en un 42.7%, en comparación con el método tradicional de labranza para terrenos planos.

Figura

Para el terreno inclinado tenemos:

- **Herramienta tradicional:**

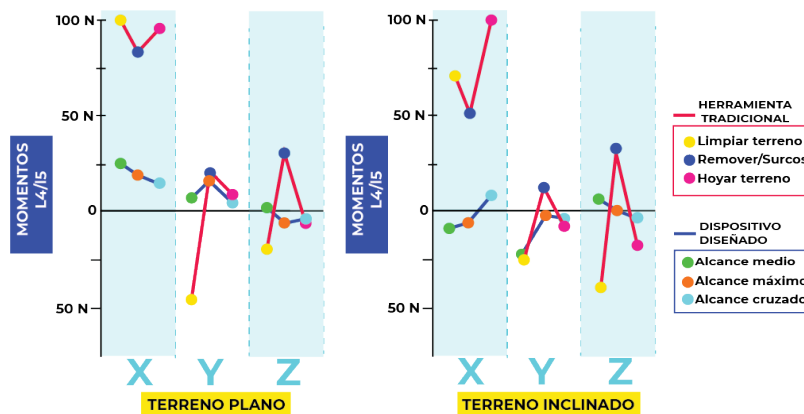
$$y = (0.029)(2055.66) + (-0.029) = 59.5\%$$

- **Dispositivo diseñado:**

$$y = (0.029)(508.66) + (-0.029) = 14.7\%$$

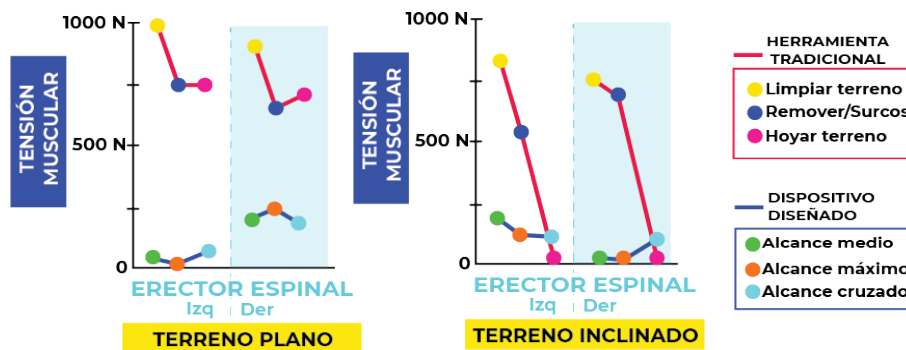
En terrenos inclinados se obtuvo, para la herramienta tradicional, un 59.5% de carga y un 14.7% con el dispositivo diseñado. Esto significa que la carga biomecánica en espalda se redujo en un **44.8%**, en comparación con el método tradicional de labranza para terrenos inclinados.

Respecto al diagrama de momentos (Figura 88) de las posturas evaluadas, los valores del momento con la herramienta tradicional son superiores, con respecto a los de la herramienta diseñada, los cuales oscilan entre 26 N a -24 N, en comparación con un rango entre 100 N y -48 N para las dos condiciones de terreno, los cuales, en su mayoría, son superiores principalmente en el eje X.

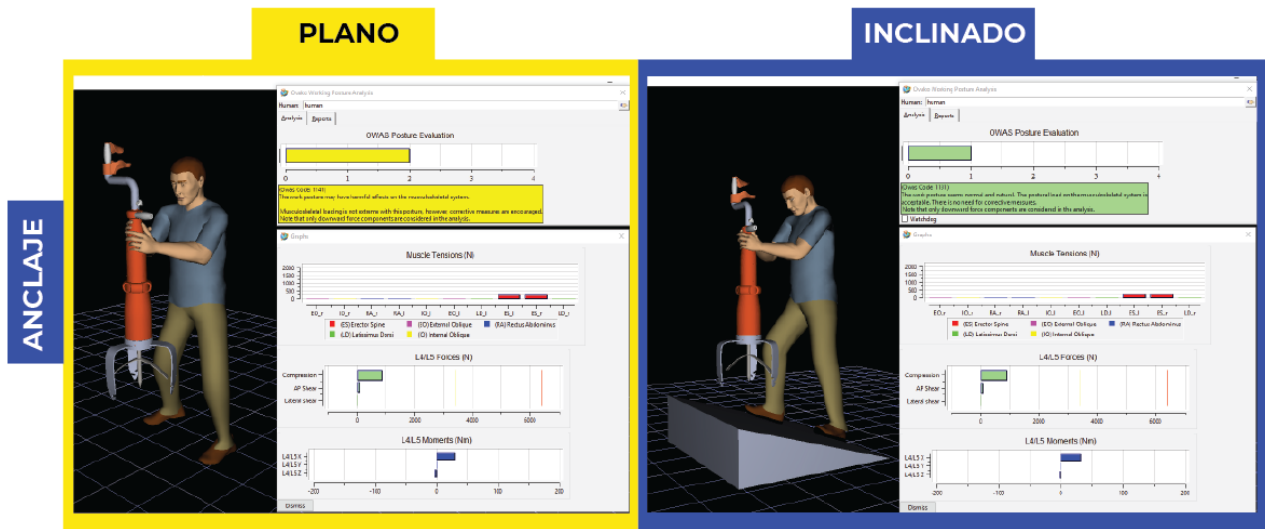


La actividad muscular en el torso (Figura 89), principalmente, se activó en los músculos erectores espinales tanto derecho, como izquierdo con el uso de las dos herramientas. En terreno plano, la tensión muscular alcanzó una magnitud de 1000 N con la herramienta tradicional y se evidencia que con el dispositivo diseñado no supera los 500 N. Por otro lado, para terreno inclinado, la

tensión se mantuvo inferior a 250 N con el dispositivo diseñado, mientras que con la herramienta tradicional osciló entre los 750 N y 0 N.



A modo de validación general, dado a que se requiere alzar la herramienta para generar fuerza para el anclaje, se decide realizar una simulación postural virtual para analizar en su totalidad la actividad haciendo uso del dispositivo diseñado. A continuación, se muestran los resultados para terreno plano e inclinado:



La acción de elevar la herramienta produce en el usuario en terreno plano un riesgo postural nivel 2, según el método OWAS, es decir, tiene la posibilidad de causar daños musculoesqueléticos a largo plazo, además, genera una fuerza compresión intradiscal de 950 N, activando los músculos erectores tanto derechos como izquierdos a casi 200 N. En terreno inclinado, la fuerza intradiscal

Figura 89. Tensión

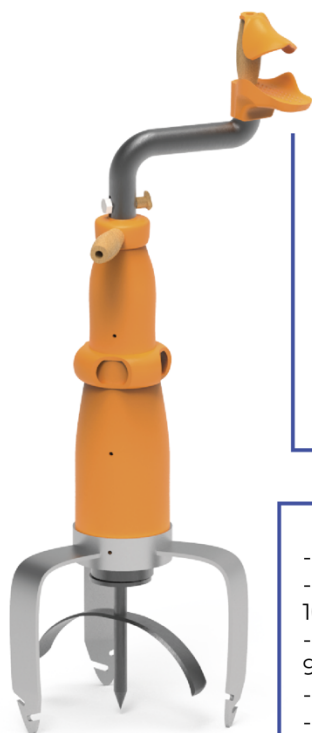
se mantuvo, aun así, el riesgo postural es de nivel 1, es decir, postura aceptable. Los momentos generados en ambas condiciones de terreno son similares. Se puede decir que el cambio de nivel de riesgo se ve afectado por el grado de elevación de los brazos por consecuencia de la carga, que en este caso fue el peso de la herramienta (3,48 Kg), dado a que, en terreno plano, el usuario está más alejado del área de trabajo.

8.2. Conclusión de la validación ergonómica virtual del sistema

Con base en los resultados y análisis, en términos generales, se evidencia una significativa mejora postural para todas las tareas con el dispositivo planteado en ambas condiciones de terreno. La adopción de posturas forzadas basadas en el método OWAS se reduce de un nivel de riesgo 4 (intervención inmediata) a un nivel de riesgo 1. De igual manera, se obtuvo una reducción del 42.7% en terrenos planos de la carga intradiscal y 44.8% en terrenos inclinados. Además, los momentos generados cuenta con un menor rango de oscilación y la tensión muscular no supera los 250 N. De igual forma se evidenció, que las posturas de los pies en terrenos inclinados (uno adelante y el otro atrás) no afecta significativamente las cargas y riesgos durante la actividad, mientras que la flexión de espalda es determinante para evaluación de riesgos y elevación de cargas intradiscales. El mantener el usuario durante toda la actividad la espalda erguida, aun ejerciendo una fuerza de empuje y hale de 10.5 KgF a modo de movimientos giratorios, mejora positivamente la actividad de labranza, teniendo en cuenta que esta última se trabajó con un factor de seguridad de 3. Para la tarea de anclaje de la herramienta diseñada, se obtuvo un nivel 2 de riesgo, es decir, postura con posibilidad de causar daño al sistema musculoesquelético, en terreno plano, esto es debido a la elevación de la herramienta para que, al bajar, penetre con mayor facilidad en la tierra, generando mayor estabilidad. Sin embargo, este riesgo postural es menor comparado a los de la herramienta tradicional, puesto que se mejora la postura global del cuerpo.

8.3. Concepto final de diseño

8.3.1. Ficha técnica.



FUNCIONAMIENTO

Es una herramienta que permite realizar la actividad de labranza para el cultivo de la yuca, facilitando al operario el desarrollo de la misma, así, evitando la incidencia de posturas críticas y/o manipulación de cargas que superen los límites establecidos, garantizando la integridad y seguridad durante la actividad.

La característica de ajuste a alturas permite al usuario acomodar la herramienta a su percentil, indicando la postura correcta para su accionamiento y generando la posibilidad de ser usada en terrenos de varias inclinaciones.

PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

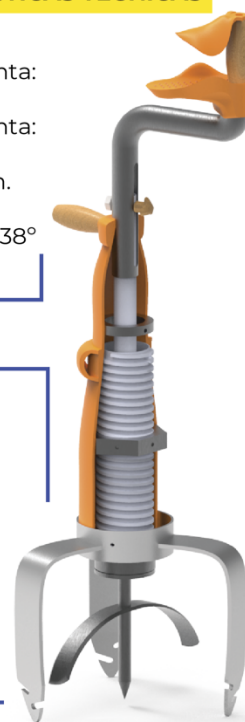
- Peso de 3,48.
- Altura máxima de la herramienta: 106.8cm(P50 hombres).
- Altura mínima de la herramienta: 90.2cm(P5 mujeres).
- Profundidad de remoción: 20cm.
- Diámetro de remoción: 30cm.
- Grado de inclinaciones: 0 a 38° Aproximadamente.

- El material del sistema estructural es polipropileno.
- Pasadores en acero estructural AISI 1045.
- Ejes y apoyo del sistema en acero AISI 1518: Grado 50.
- Sistema de corte en acero inoxidable AISI 304.
- Tornillo de potencia en polietileno de alta densidad.

CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN

MANTENIMIENTO

Se sugiere realizar limpieza al sistema de cuchillas aproximadamente 1 vez cada seis meses, se debe lubricar y aceitar el tornillo, a su vez mantener afiladas las hojas de las cuchillas. A los demás componentes se debe realizar limpieza constante de forma superficial.



8.3.2. Costos de fabricación. Para determinar los costos de fabricación del dispositivo diseñado, se tuvo como base la cotización de los elementos que lo componen. En la tabla 4, se especificó cada uno teniendo en cuenta las dimensiones y la calidad del material (seleccionado según la metodología de ASHBY)-También se incluyó los costos dados por empresas locales que a su vez abarcaban la mano de obra (Presentado los planos técnicos). Como resultado se obtiene que el costo de una herramienta para realizar la actividad de la labranza en el cultivo de la yuca es de \$ 509.400 pesos colombianos.

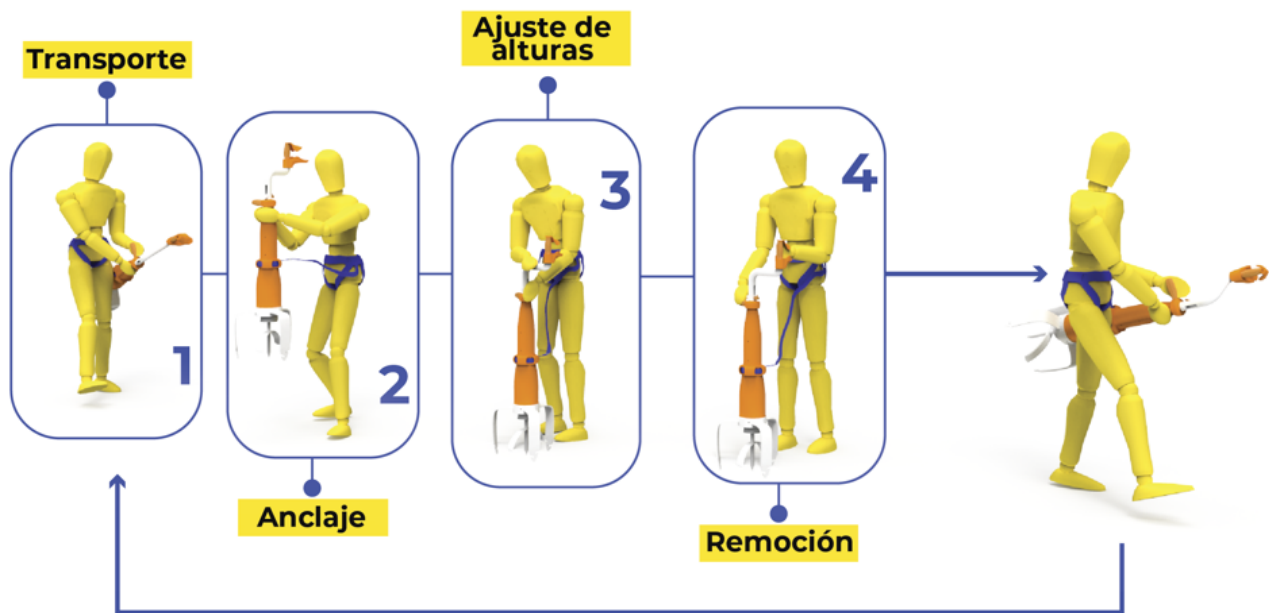
Tabla 4

Costos del dispositivo propuestos por cada elemento.

Descripción	Cantidad	Material	Valor unitario COP	Valor Total COP
Mango 3x10cm	2	Madera: Cedro	6.000	12.000
Manivela 29x5cm	1	Acero AISI 1518: Grado 50	18.400	18.400
Rotador interno1,7x42cm	1	Acero AISI 1518: Grado 50	14.000	14.000
Pasador ajuste alturas 2,54x5 cm	1	Acero: AISI 1045	2.000	2.000
Agarre ajuste de alturas	1	Madera: Cedro	7.000	7.000
Carcasa 14x52cm	1	Polipropileno	65.000	65.000
Rodamiento	1	Ref: 6007-2RS2	10.000	10.000
Tornillo de potencia 7,6x35 cm	1	Polietileno: HDPE	147.000	147.000
Tuerca	2	Polietileno: HDPE	7.000	14.000
Base de 3 patas	1	Acero A36	100.000	100.000
Cuchillas	1	Acero: AISI 304	120.000	120.000
			TOTAL	509.400

8.3.3. Diagrama de uso. El diagrama de procesos planteado para la actividad de labranza para el posterior cultivo de la yuca se encuentra ilustrado en la figura 92, el cual muestra que consta de 4 tareas, donde el usuario como primer paso deberá transportar el dispositivo al lugar de trabajo ayudando a soportar el peso mediante una propuesta de correas tipo arnés para que el peso sea

distribuido en las caderas. Como segundo paso, el usuario ancla los tres apoyos de la base a la tierra, elevándolo para generar fuerza adicional al penetrar en el suelo. Paso seguido, se adaptará la altura de la manivela ya sea para ajustar a la altura del usuario o a la inclinación del terreno. Finalmente, se realizará movimientos giratorios para desplazar y girar la cuchilla, la cual removerá y cortará la capa superficial, dejando el terreno listo para la posterior siembra de la semilla de la



yuca. Se repetirán los cuatro pasos dependiendo el número de plantas a sembrar.

8.3.4. Validación estática mediante SolidWorks. Por medio del software SolidWorks se realizó una simulación CAE para los cuatro elementos del sistema que soportarán todas las fuerzas y cargas aplicadas para el funcionamiento del dispositivo. En todos los elementos se aplica una fuerza de torsión de 30.89N, teniendo en cuenta la sección específica donde será transmitido el movimiento analizando las tensiones y deformaciones presentes en cada uno. A continuación, se muestran los resultados del análisis para los cuatro elementos:

8.4. Cuadro comparativo. Azadón Vs. herramienta diseñada.



Figura 94. Cuadro comparativo. Azadón Vs. Dispositivo diseñado.

9. Conclusiones

En primera instancia se realizó una aproximación al área donde se desarrolla la actividad en tres puntos de la región de Santander (Lebrija, Curití y Piedecuesta), enfocado en analizar a los agricultores, herramientas y diferentes tareas que la labranza involucra para el posterior cultivo de la yuca, mediante entrevistas, observación de campo y registro audiovisual del proceso. De este acercamiento se pudo identificar que el proceso consta de cuatro tareas: Limpiar y cortar malezas, remover, realizar surcos y finalmente hoyar. Estas son desarrolladas con tres herramientas diferentes (azadón, pica y barreta) y el uso de estas depende tanto de las costumbres y tradiciones, como de las condiciones del suelo. A partir del diagnóstico, se aplicó, por medio de una escala analógica visual, una encuesta a 33 agricultores, identificando nivel de molestias o dolor alto en la espalda baja y nivel medio de intensidad en la cadera, hombros, brazos, manos y muñeca durante la actividad.

Partiendo de lo anterior, se realizó una evaluación de riesgo postural, teniendo en cuenta las posturas identificadas tanto en terreno plano como en terreno inclinado implementando el método OWAS y un análisis lumbar: presión intradiscal y tensión muscular de un modelo biomecánico por simulación digital humana con el Software Jack – Siemens, que permitió detectar que las posturas adquiridas durante la tarea de limpieza de maleza en las dos condiciones de terreno, presentan mayores niveles de riesgo y a su vez, los agricultores invierten mayor tiempo en esta tarea, seguido de las posturas de remoción de tierra y realización de surcos.

El resultado del tercer objetivo específico corresponde a la necesidad de vincular y analizar las condiciones mecánicas existentes en la herramienta tradicional, donde la palanca es el fundamento principal del uso del azadón, el cual depende directamente de la forma y distancia de los agarres

en el mango por parte del agricultor. Además, mediante el estudio de las condiciones mecánicas generales a través de la revisión de la literatura, se identificó los mecanismos más viables de implementar y la necesidad de valorar el esfuerzo requerido para romper el suelo, el cual fue esencial debido a que este resultado fue la base para los cálculos mecánicos. Para hallar la resistencia al corte del suelo, se ejecutó una caracterización de este, en donde es cultivada la yuca, encontrando suelos con textura arcillosa como más densos y duros de trabajar. Estas características del suelo fueron encontradas en el municipio de San Gil, Santander (Número de perfil: PS-88), extrayendo una muestra y procediendo a la realizar un ensayo de corte directo, obteniendo como resultado un esfuerzo cortante de $\tau = 3 \frac{\text{KgF}}{\text{cm}^2}$, con un factor de seguridad 3, para tender a la mejora del dispositivo.

El desarrollo de las alternativas de diseño corresponde al cumplimiento del cuarto objetivo específico, que tuvo como base los requerimientos de diseño planteados a partir de las tareas nombradas anteriormente adoptando la metodología de Ulrich y Eppinger (2013). Además, el análisis realizado permitió concluir que las propuestas existentes no manejan un balance entre el bienestar del usuario y la adecuada realización de la tarea, siendo diseñados para terrenos ideales, donde en Santander dichos terrenos no son frecuentes.

Partiendo de esto, se implementó la metodología de diseño de enfoque sistemático desarrollada por Palh y Beitz (2013), en la cual se definió la función general del dispositivo, junto con las subfunciones y subsistema requeridas para el funcionamiento de este, proponiendo soluciones a cada uno de estos y mediante un análisis morfológico son asociadas teniendo como objetivo dar una solución integral. Las cinco alternativas generadas, fueron evaluadas a partir de una matriz QFD “*Quality Function Deployment*”, logrando tener un acercamiento a un concepto de diseño,

el cual fue evolucionado y reestructurado a partir de reuniones con expertos a nivel técnico y formal.

Con base en el proceso anterior, se obtiene como resultado el diseño de un dispositivo para la labranza de la tierra para el cultivo de la yuca, formado por un sistema de tornillo de potencia, cuyas dimensiones y especificaciones están basadas a partir del esfuerzo de corte para penetrar en el suelo, y se desplaza hasta 20 cm de profundidad removiendo la tierra en un diámetro de 30 cm. El elemento de corte y remoción fue diseñado a partir de las consideraciones estructurales establecidas en la literatura y comprobando la disposición final del suelo y el esfuerzo requerido mediante maquetas experimentales. La altura ajustable de la manivela giratoria permite la adopción de posturas durante toda la actividad de pie con espalda erguida, facilitando con esto la ejecución de la actividad sin tener que adoptar posturas críticas que sobrepase los umbrales permitidos según las normatividades colombianas y garantizando que se adapte a la antropometría de los usuarios y las inclinaciones de los terrenos irregulares representativos de Santander.

Este concepto de diseño fue verificado mediante una encuesta de satisfacción e interpretación, a través de un prototipo funcional, donde se tuvo un resultado de aceptación alto, aun identificando algunas falencias en el agarre de accionamiento en los primeros intentos. También se obtuvo una reducción del tiempo de realización de la actividad de 26 segundos en terreno plano y 23 segundos en terreno inclinado por semilla sembrada, el cual es relevante al momento de preparar el terreno para la siembra de gran cantidad de plantas. La percepción de esfuerzo disminuyó con respecto al azadón, pasando de un puntaje de 6, más pesado, a 3.53 entre ligero y algo pesado. Los aspectos evaluados como la estabilidad satisfacen en mayor grado respecto con el azadón, mientras que la visibilidad, funcionalidad, complejidad y los agarres se mantuvieron al mismo nivel de satisfacción.

Con el fin de validar el diseño propuesto posturalmente dando respuesta a la pregunta de diseño planteada: *¿En cuánto se reduce la carga biomecánica en espalda y hombros para los agricultores al momento de realizar la actividad de labranza para el cultivo de yuca en Santander, con el dispositivo diseñado en comparación con el método tradicional?*, y cumpliendo el objetivo específico número 5, se ejecutó una simulación ergonómica virtual, bajo las mismas condiciones del análisis anterior, pero analizando las posturas más críticas del movimiento giratorio: alcance medio, alcance máximo y alcance cruzado, en donde se encontró una reducción del 100% del nivel de riesgo, según los resultados del método OWAS, catalogando las posturas como naturales, sin presentar riesgo significativo para la salud. También, en las dos condiciones de terreno plano e inclinado, se reduce la fuerza de compresión intradiscal en un 42.7% y 44.8%, respectivamente en comparación con la herramienta tradicional.

A modo de conclusión, se considera que el resultado del proyecto es satisfactorio dado a que con la aplicación de conceptos ergonómicos y de diseño, se logró proponer un dispositivo para realizar la labranza, manteniendo la simplicidad que caracteriza la actividad con beneficios posturales altos y con mejoras productivas al disminuir el tiempo. Aun contando con una diferencia de precio significativa, la relación costo-beneficio es alta a largo plazo, debido a la vida útil del producto haciendo uso de materiales resistentes en función de la fuerza necesaria, la reducción de herramientas para realizar una sola actividad, la posibilidad de ajustar otro tipo de cuchillas para realizar otras actividades y la disminución de posturas penosas y esfuerzo, brindado una alternativa para mejorar así la salud y vida del agricultor.

9.1. Limitaciones

Una de las limitantes para el desarrollo del presente proyecto fue el tiempo empleado en cada una de las encuestas, entrevistas y observaciones directas a agricultores, ya que era necesario

recorrer grandes distancias para poder realizar dichas actividades. También la realización del ensayo de corte directo requirió la disponibilidad de los laboratorios, máquinas y docentes expertos en el área de suelos, lo que llevó a la prolongación del tiempo determinado para la realización del proyecto.

Por último, en la búsqueda de la fabricación del prototipo funcional, se tuvo en cuenta la selección de materiales basados en la maquinaria disponible en la universidad facilitando la fabricación por parte del equipo de trabajo.

9.2. Recomendaciones

A partir del concepto final evaluado, se plantearon una serie de mejoras y recomendaciones para darle valor agregado a el dispositivo, proponiendo un sistema de cuchillas intercambiable, mediante el método contra-roscas, buscando instalar un elemento que realice una acción diferente como perforar, para satisfacer otras necesidades presentes en el trabajo agrícola.

Asimismo, se propone realizar un estudio general de la preparación de la tierra para otros cultivos con el fin de que el dispositivo tenga un mayor rango de aplicación dado a que el campo colombiano, es apto para gran variedad de productos agrícolas.

Referencias Bibliográficas

Alvarado, A., (2004), *Maquinaria y mecanización agrícola*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal.

Amézquita, E. (1999). *Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza*. *PALMAS* 20, (1), 73-86.

Ashby, M. (2005). *Materials Selection in Mechanical Design* (Third edition ed.). ELSEVIER.

Ashbumer, J. y Sims, B. (1984). *Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Baron S., Estill C.F. Steege A. y Lalich N. (2001) *Ergonomía para trabajadores Agrícolas*, Departamento de Salud y Servicios Humano. p.3.

Becerra, A., Botello, S., Cortés, S., Estrada, L., Rodríguez, C. y Vásquez, H. (2013) *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. Coautores SAC y Fedesarrollo. Bogotá, Colombia. ISBN: 978-958-57092-8-7

Bulliger H., y Strasser H. (2007). *A Systematic Approach for the Analysis and Ergonomic Design of Hand-Held Tools and Control Actuators – Visualized by some Real-Life Examples*. IOS Press, Capítulo 1. 6-11.

Cadavid, L., (2005). *Producción de yuca*. Manual Clayuca. Cali, Colombia.

Carmen, M. y Lawrence, J., (2010). *Análisis de la herramienta de medición del riesgo ergonómico en agricultura*. *AERAT*, 23 (5), 4-17.

Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo-Sector Agrario (CNSST), (2008), *Enfermedades profesionales de los agricultores*, Madrid, España.

Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca (Clayuca), (2002). *La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Cali, Colombia. ISBN 958-694-043-8

Cortés E., Álvarez, F. y González, H., (2009). *La mecanización agrícola: Gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo*. Revista CES, Medicina Veterinaria y Zootecnia. 4 (2). Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/3214/321428102015/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) (2014). Tercer Censo Nacional Agropecuario. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co>

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) (2015). Encuesta Nacional Agropecuaria, ENA. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co>

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) (2016). Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Núm. 46. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co>

Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2010 – 2014) Prosperidad para todos. Plan Nacional de Desarrollo (PND). Bogotá, Colombia.

Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2015. *El Campo Colombiano: un camino hacia el bienestar y la paz*. Recuperado de: <https://www.dnp.gov.co/programas/agricultura/Paginas/Informe-misi%C3%B3n-FInal.aspx>

Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola (1991). *Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica*. San José, Costa Rica.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (1994). *Estudio de suelos y zonificación de tierras del departamento de Santander*. Bogotá, Colombia.

Figueroa, S. y Morales F. (1994). *Manual de producción de cultivos con labranza de conservación*. SARH y Escuela de Posgrado, Chapingo, México. 273p.

Fontes, R (2001). *Occupational Safety and Health in Latin America and the Caribbean: Overview, Issues and Policy recommendations*. Primer seminario técnico de consulta regional sobre temas laborales. Ciudad de Panamá, Panamá.

García, E., (S.f), *Biomecánica articular*. Recuperado de: <http://studylib.es/doc/5035620/columna.-biomec%C3%A1nica-de-la-columna-vertebral>

González, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002), *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Prentice Hall

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), (1997). Real Decreto 487/1997. *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación manual de carga*. Madrid, España. Recuperado de: <http://www.insht.es>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (INSHT), (s.f.) *Notas Técnicas de Prevención, NTP 391: Herramientas manuales (I): Condiciones generales de seguridad*. Madrid, España. Recuperado de: <http://www.insht.es>

Gutiérrez, M., Flores, C., y Monzó, J. (2010). *Prevalencia de Trastornos Musculoesqueléticos de Columna Lumbar en Trabajadoras y Límites Biomecánicos en el Manejo de Carga y Pacientes*. Revista Ciencia & Trabajo, (73), 380-385.

Inostroza, F. y Méndez, L. *Preparación de suelo*. p. III. (29–58). Boletín INIA n°. 193. Recuperado de: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36470.pdf>

I.N.V. E – 154 – 07. *Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (consolidado drenado)*.

Jaimes, T y López, R. (2002). *Metodología mixta de selección de materiales aplicada en la escogencia del material para un dedo de pinza de sujeción de un manipulador industrial*. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte, (12) 35-51.

Karwowski M. (1999) *The occupational ergonomics, hand book*. Estados Unidos: CRC Press LCC.

La problemática de la maquinaria agrícola. (s.f.). Recuperado de:
http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/maq_colombia.htm

Labranza en la Agricultura. (2017) Ecured.cu. Recuperado de:
https://www.ecured.cu/index.php/Labranza_en_la_Agricultura

Lemus, G. y Donoso C. (2008). *Establecimiento de huertos frutales* (1st ed.). Rengo, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.

TRAGSA (1994). *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid, España.

Llaneza, J. (2009). *Ergonomía y psicología aplicada manual: Manual para la formación del especialista*. 12° edición. Valladolid, España: Editorial Lex Nova S.A.

Maradei, M., Espinel, F., y Peña, A. (2008) *Datos antropométricos para el diseño, Región nororiental Colombia*. Bucaramanga, Colombia: Ediciones UIS.

Maradei F., Ardila, C., Sanabria, J., (2016). *Estrategias para mitigar los factores de riesgo por carga física en la actividad agricultora, caso cultivo de mora de castilla*. Proyecto de investigación. Bucaramanga, Colombia. Universidad Manuela Beltrán.

Manrique, R. (2010). *Preparación de Suelos y Elaboración de Drenajes*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria y Universidad de Pamplona. Pamplona, Santander. Recuperado de: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_4/mod_virtuales/modulo1/tema_21.html

Ministerio Nacional de Agricultura de Colombia (MinAgricultura) (2015) Indicadores diciembre, YUCA, Bogotá Colombia. Recuperado de: <http://www.minagricultura.gov.co>

Ministerio de Cultura de Colombia (MinCultura), (S.f). *Población campesina y cultura*. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://www.mincultura.gov.co>

Ministerio de Educación Nacional (MinEducación) (2001). Más campo para la educación rural. Al tablero No. 2. Bogotá Colombia. Recuperado de: <https://www.mineducacion.gov.co>

Miralles, R. (2001). *Biomecánica de la columna*. Revista de la Sociedad Española del Dolor (8) 2-8.

Mondelo, P., Torada, E., Busquetes, J y Bombardó, P. (1998). *Ergonomía 3: Diseño de puestos de trabajo*. Universidad politécnica de Cataluña. Barcelona, España: Ediciones UPC.

Morales, O. (2015). *Diseño de un sistema de arado para la preparación del suelo en cultivos orgánicos dirigido a pequeños agricultores*. Tesis de pregrado en Ingeniería Mecatrónica. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.

Norma Técnica Colombiana, NTC 5655: Principios para el diseño ergonómico de sistemas de trabajo, 2008.

NF X35 -106 (2011). *Ergonomie - Manutention manuelle de charge pour soulever, déplacer et pousser/tirer - Méthodologie d'analyse et valeurs seuils*. Afnor Editions.

Oficina Internacional del Trabajo (OIT) (2000), *Seguridad y Salud en la Agricultura*. Ginebra, Suiza.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), (2015) *Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible*.

Palh, G. y Beitz, W. (2013). *Engineering design: a systematic approach*. Springer Science & Business Media.

Pérez, E y Pérez, M. (2002). *El sector rural en Colombia y su crisis actual*. Documento presentado en el Diplomado en Gestión Educativa Territorial, Instituto Pensar, Pontificia Universidad Javeriana. Cuadernos de Desarrollo Rural (48). Bogotá, Colombia.

Perfetti J. (2013) *La Obsoleta Maquinaria Agrícola*. El Colombiano. Recuperado de: http://www.elcolombiano.com/historico/la_obsoleta_maquinaria_agricola-OBEC_248666

Prevención de riesgos laborales en la agricultura. (2001) (1st ed.) Sevilla, España.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2011). *Colombia rural: Razones para la esperanza*. Bogotá, Colombia.

Ritchey, T. (2003). *General Morphological Analysis. A general method for non-quantified modelling*. Recuperado de: <http://www.swemorph.com>.

Rodríguez, C. y Daza, O. (1995) *Preparación de Suelos en: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*, CENICAÑA. Cali, Colombia. p 109-114.

Roel J., Arizo, V. y Ronda, E. (2006) *Epidemiología del síndrome del túnel carpiano de origen laboral en la provincia de Alicante, 1996-2004*. Revisit Española de Salud Publica vol.80 no.4 Madrid, España.

Ruiz, A. y Rojas, F. (2009). *Despliegue de la función calidad (QFD)*. Módulo 8, (p 4-10). Madrid, España.

Suárez, N. y Osorio, A. (2013) *Biomecánica del hombro y bases fisiológicas de los ejercicios de Codman*. Revista CES de Medicina, 27(2), 205-217.

Tecnomatix, S.P (2011). JACK. (U. o. pensilvania, Ed.) Obtenido de Tecnomatix Siemens: https://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/human-ergonomics/jack.shtml#lightview%26url=/es_sa/Images/4917_tcm1004-4952.pdf%26title=Jack%26description=Jack Fact Sheet%26docType=pdf.

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y Desarrollo de Productos*. Mexico: Mc Graw Hill Education.

Universidad de Málaga (2007). *Manipulación manual de cargas: Factores de riesgo que están presentes y forma de prevenir los riesgos asociados*. Recuperado de: www.uma.es/prevencion

Vélez A., Campos A., Córdoba S. y Anzola J. (2010). *Invierta en Colombia. Sector Agroindustrial Colombiano*. 1 (1).

Zander J., (s.f) *La ergonomía en la agricultura y la silvicultura tropical*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/n9800s/n9800s05.htm>