

Herramienta ergonómica para el transporte de la mazorca de cacao en cultivos a escala  
familiar

Silvia Juliana Domínguez González

Trabajo de Grado para Optar al Título de Diseñador Industrial

Director

María Fernanda Maradei García

Doctora en Ingeniería (ergonomía)

Codirector

Jenny Rodríguez

Magister en Ingeniería Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Diseño Industrial

Bucaramanga

2023

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	14
1. Planteamiento del problema.....	16
2. Justificación .....	20
3. Objetivos.....	22
3.1 Objetivo general.....	22
3.2 Objetivos específicos .....	22
4. Marco teórico.....	23
4.1 Marco referencia conceptual.....	23
4.1.1 Definiciones básicas.....	23
4.1.1.1 Mazorca.....	23
4.1.1.2 Cacota.. ..	23
4.1.2 Situación nacional.....	24
4.1.2.1 Cacao en Colombia. ....	24
4.1.3 Cacao en Santander.....	25
4.1.4 Condiciones del cultivo y el suelo .....	26
4.1.5 Manejo agronómico del cultivo .....	27
4.1.5.1 Trazado de la plantación. ....	27
4.2 Análisis de los productos del mercado.....	30
4.3 Riesgos en la agricultura.....	32
4.4 Metodología de valoración ergonómica.....	33

4.4.1 Método OWAS .....	33
5. Metodología .....	34
6. Ejecución del proyecto.....	36
6.1 Fase 1. Entender el contexto del usuario y especificar los requerimientos del usuario.....	36
6.1.1 Información del contexto .....	37
6.1.2 Información del usuario .....	40
6.1.2.1 Análisis de la actividad del transporte de la mazorca de cacao. ....	42
6.1.2.2 Herramienta utilizada en el transporte de la mazorca de cacao. ....	43
6.1.2.3 Análisis de postura durante la tarea con el método OWAS.....	44
6.1.3 Análisis y síntesis de la información .....	49
6.1.3.1 Árbol del problema. ....	49
6.1.3.2 Análisis mecánico de la manipulación del “saco”. ....	50
6.1.4 Requerimientos de diseño .....	53
6.1.4.1 Atributos de diseño. ....	53
6.1.4.2 Requerimientos de diseño. ....	55
6.2 Fase 2. Diseño de soluciones .....	56
6.2.1 Diagrama FAST .....	56
6.2.2 Visitas de co-creación .....	57
6.2.2.1 Diagrama morfológico.....	59
6.2.2.2 Modelo KANO.....	61
6.2.3 Mood board.....	62
6.2.4 Generación de concepto.....	63
6.2.4.1 Alternativa 1.....	63

6.2.4.2 Alternativa 2.....	64
6.2.4.3 Alternativa 3.....	66
6.2.4.4 Alternativa 4.....	67
6.2.4.5 Alternativa 5.....	68
6.2.5 Matriz Pugh.....	69
6.3 Fase 3. Evaluación de alternativas .....	72
6.3.1 Propuesta de solución #1 .....	73
6.3.1.1 Detalle de la propuesta de solución #1. ....	73
6.3.1.2 Análisis en campo con el modelo constructivo #1.....	75
6.3.2 Propuesta de solución #2 .....	80
6.3.2.1 Especificaciones de la propuesta de solución #2. ....	82
6.3.2.2 Análisis en campo con el modelo constructivo #2.....	85
6.3.3 Propuesta de solución #3 .....	89
6.3.4 Propuesta de solución #4 .....	95
6.4 Estrategia de Marca.....	100
6.5 Validación del sistema basado en criterios de usabilidad.....	101
6.5.1 Eficiencia .....	103
6.5.2 Eficacia .....	105
6.5.2.1 Frecuencia de errores.....	108
6.5.3 CSAT (Customer Satisfaction Survey).....	109
6.6 Validaciones del sistema en términos técnicos .....	111
6.6.1 Seguridad y Traslado .....	111
6.6.2 Adaptabilidad del sistema .....	112

6.6.3 Carga .....	113
6.6.3.1 Modelo Biomecánico.....	113
6.6.3.2 Postura.....	118
6.7 Concepto final de diseño.....	120
6.7.1 Ficha técnica .....	120
6.7.2 Costo de fabricación .....	121
6.7.3 Diagrama de uso .....	122
7. Conclusiones.....	123
Referencias Bibliográficas .....	126

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Benchmarking</i> .....	30
Tabla 2. <i>Requerimientos de diseño</i> .....	55
Tabla 3. <i>Resultados de los atributos con base en el modelo KANO</i> .....	62
Tabla 4. <i>Matriz Pugh</i> .....	69
Tabla 5. <i>Suma ponderada de la matriz Pugh</i> .....	71
Tabla 6. <i>Datos obtenidos prueba del método tradicional (saco) y el caotero</i> .....	104
Tabla 7. <i>Caracterización de la población</i> .....	105
Tabla 8. <i>Relación de datos de los usuarios y porcentaje de éxito alcanzado en la tarea con el sistema de transporte Caotero</i> .....	106
Tabla 9. <i>Relación de datos del paso a paso y el número de errores cometidos en el desarrollo de la tarea con el sistema de transporte Caotero</i> .....	108
Tabla 10. <i>Encuesta CSAT</i> .....	109
Tabla 11. <i>Resultados del porcentaje de valoración 5 en la encuesta percepción de seguridad y traslado</i> .....	111
Tabla 12. <i>Datos de cada grupo etario por arquetipos</i> .....	114
Tabla 13. <i>Costos de fabricación del Caotero</i> .....	121

**Lista de figuras**

Figura 1 <i>Fruto del cacao</i> .....	23
Figura 2 <i>Cacota o cáscara de cacao</i> .....	23
Figura 3 <i>Representación de la pendiente</i> .....	26
Figura 4 <i>Diagrama de siembra trazado en triangulo</i> .....	27
Figura 5 <i>Corte de cosecha</i> .....	28
Figura 6 <i>Transporte tradicional</i> .....	29
Figura 7 <i>Corte de la cacota y desenyugada</i> .....	29
Figura 8 <i>Metodología Diseño centrado en el usuario</i> .....	34
Figura 9 <i>Diagrama de actividades fase de consulta y análisis</i> .....	37
Figura 10 <i>Entorno, áreas de producción, dinámica y proceso de recolección con visita a campo</i> .....	38
Figura 11 <i>Características del terreno</i> .....	39
Figura 12 <i>Tamaño de la mazorca de cacao</i> .....	40
Figura 13 <i>Arquetipo de usuario persona adulta y persona mayor</i> .....	41
Figura 14 <i>Tareas de recolección y transporte de la mazorca de cacao</i> .....	43
Figura 15 <i>Herramienta transporte tradicional de la mazorca de cacao</i> .....	44
Figura 16 <i>Posturas adoptadas en la tarea de transporte de la mazorca de cacao</i> .....	45
Figura 17 <i>Codificación de las posiciones de la espalda</i> .....	46
Figura 18 <i>Codificación de las posiciones de los brazos</i> .....	46
Figura 19 <i>Codificación de las posiciones de las piernas</i> .....	47

Figura 20	<i>Codificación de la carga y fuerzas soportada</i> .....	47
Figura 21	<i>Codificación de las posiciones de la espalda, brazos, piernas y la carga</i> .....	48
Figura 22	<i>Categorías de Riesgo por Códigos de Postura</i> .....	48
Figura 23	<i>Acciones correctivas</i> .....	49
Figura 24	<i>Árbol del problema</i> .....	50
Figura 25	<i>DCL del contenedor tradicional</i> .....	51
Figura 26	<i>Modelo biomecánico de la espalda del campesino en postura flexión de espalda</i> ....	52
Figura 27	<i>Escala de valoración de atributos</i> .....	54
Figura 28	<i>Porcentaje escala de valoración</i> .....	54
Figura 29	<i>Diagrama de actividades fase Diseño de soluciones y evaluación de resultados</i> .....	56
Figura 30	<i>Diagrama FAST</i> .....	57
Figura 31	<i>Procesos de co-creación</i> .....	59
Figura 32	<i>Diagrama morfológico</i> .....	60
Figura 33	<i>Escala de valoración</i> .....	61
Figura 34	<i>Mood board</i> .....	62
Figura 35	<i>Alternativa de diseño 1</i> .....	64
Figura 36	<i>Alternativa de diseño 2</i> .....	65
Figura 37	<i>Alternativa de diseño 3</i> .....	66
Figura 38	<i>Alternativa de diseño 4</i> .....	67
Figura 39	<i>Alternativa de diseño 5</i> .....	68
Figura 40	<i>Valoración de los atributos</i> .....	70
Figura 41	<i>Calificación en orden ascendente basados en el cumplimiento de los criterios</i> .....	72
Figura 42	<i>Datos antropométricos, postura erguida mujer edad 15-31 años</i> .....	73

Figura 43	<i>Propuesta de solución 1. Prototipo</i> .....	75
Figura 44	<i>Propuesta de solución. Prototipo en campo</i> .....	76
Figura 45	<i>Evaluaciones técnicas y validaciones con usuario</i> .....	77
Figura 46	<i>Porcentaje de cumplimiento de requerimientos. Propuesta de solución 1</i> .....	78
Figura 47	<i>Validación y verificación rueda (tipología 1)- Enganche de material orgánico</i> .....	79
Figura 48	<i>Validación y verificación Prototipo 1</i> .....	79
Figura 49	<i>Prototipo. Propuesta de solución 2</i> .....	81
Figura 50	<i>Propuesta de solución 2. Sistema de movimiento (tipología 2.1 y 2.2)</i> .....	82
Figura 51	<i>Alternativas de tejidos</i> .....	83
Figura 52	<i>Alternativas de tejidos. Modificaciones para la construcción del tejido</i> .....	84
Figura 53	<i>Alternativa de tejidos. Selección de colores en material real</i> .....	84
Figura 54	<i>Construcción prototipo funcional escala 1:1. Propuesta de solución 2</i> .....	85
Figura 55	<i>Evaluaciones técnicas y validaciones con usuario. Propuesta de solución 2</i> .....	87
Figura 56	<i>Porcentaje de cumplimiento de requerimientos. Propuesta de solución 2</i> .....	88
Figura 57	<i>Validación y verificación rueda (tipología 2.1). Enganche de material orgánico</i> ....	88
Figura 58	<i>Validación y verificación rueda (tipología 2.2). Enganche de material orgánico</i> ....	89
Figura 59	<i>Prototipo. Propuesta de solución 3</i> .....	90
Figura 60	<i>Sistema de movimiento (tipología 3.1, 3.2 y 3.3). Propuesta de solución 3</i> .....	91
Figura 61	<i>Evaluaciones técnicas y validaciones con usuario. Propuesta de solución 3</i> .....	92
Figura 62	<i>Porcentaje de cumplimiento de requerimientos. Propuesta de solución 3</i> .....	93
Figura 63	<i>Propuesta de solución 1. Tipología 1</i> .....	94
Figura 64	<i>Propuesta de solución 3. Tipología 3.1</i> .....	94
Figura 65	<i>Tejido con fibra de fique. Tipología 4</i> .....	94

Figura 66	<i>Propuesta de solución 4. Prototipo</i> .....	95
Figura 67	<i>Validación y verificación 1. Propuesta de solución 4</i> .....	96
Figura 68	<i>Carga simulada. Validación y verificación 1</i> .....	96
Figura 69	<i>Resultados de la Validación y verificación 1. Propuesta de solución 4</i> .....	97
Figura 70	<i>Propuesta final</i> .....	99
Figura 71	<i>Diseño de marca Caotero</i> .....	101
Figura 72	<i>Prueba de validación. Usuarios usando la herramienta Caotero</i> .....	102
Figura 73	<i>Diseño de estudio</i> .....	102
Figura 74	<i>Gráfico circular porcentaje de los usuarios que lograron completar la tarea con el sistema de transporte Caotero</i> .....	107
Figura 75	<i>Resultados ángulo promedio flexión de espalda por grupo etario (software Kinovea)</i> .....	114
Figura 76	<i>Modelo biomecánico de la espalda del campesino en postura flexión de espalda</i> ..	115
Figura 77	<i>Diagrama ventaja mecánica Caotero</i> .....	116
Figura 78	<i>Resultados promedio fuerza músculo erector por grupo etario</i> .....	116
Figura 79	<i>Comparación de los resultados promedio fuerza músculo erector por grupo etario y método tradicional (saco)</i> .....	117
Figura 80	<i>Resultados obtenidos en el análisis de OWAS</i> .....	118
Figura 81	<i>Ficha técnica Caotero</i> .....	120
Figura 82	<i>Diagrama de uso</i> .....	122

### **Lista de Apéndices**

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS

Apéndice A: Contexto del usuario

Apéndice B: Análisis biomecánico "saco"

Apéndice C: Porcentaje escala de valoración atributos

Apéndice D: Encuesta modelo KANO

Apéndice E: Matriz pugh

Apéndice F: Daños en la propuesta N°4

Apéndice G: Manual de marca

Apéndice H: Protocolo validación y verificación

Apéndice I: Informe de validación

Apéndice J: Análisis biomecánico Caotero

## Resumen

**Título:** Herramienta ergonómica para el transporte de la mazorca de cacao en cultivos a escala familiar\*

**Autor:** Silvia Juliana Domínguez González\*\*

**Palabras Clave:** Cacota, Herramienta, Ergonomía y Transporte

### Descripción:

Este proyecto se enmarca en el objetivo general del proyecto de investigación interna 2684 de la Universidad Industrial de Santander, el cual tiene como propósito aprovechar y proporcionar un valor a la cacota de la mazorca de cacao que se genera dentro de los cultivos, ya que es el principal residuo contaminante en la cosecha.

Principalmente se abordó desde la actividad de transporte de las mazorcas desde la zona de cultivo hasta la zona de fermentación ya que actualmente se realiza de manera tradicional haciendo uso de elementos poco adecuados como costales que son soportados por los hombros de los campesinos. Esto ocurre, porque no existen productos en el mercado que permitan realizar el transporte de mazorca sin generar problemas musculoesqueléticos en el campesino.

Abordando esta problemática, en el 2019 se realizó un trabajo de grado con código 21563, cuya solución fue un sistema con anclaje a tierra con resultados no satisfactorios para el grupo de investigación, debido a su característica estática, elevado peso y un sistema muy poco operativo (problemas de usabilidad en el armado p.ej ineficiencia del tornillo de ajuste y gran cantidad de tornillos y tuercas). Por tanto, se buscó diseñar una herramienta ergonómica para el transporte de mazorca de cacao por parte de los cacao-cultores que mitigue las cargas sobre el sistema musculoesquelético del campesino.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Diseño Industrial. Director: María Fernanda Maradei García. Doctora en Ingeniería (ergonomía). Codirector: Jenny Rodríguez. Magíster en Ingeniería Industrial

### Abstract

**Title:** Ergonomic tool for transporting cocoa pods in family-scale crops\*

**Author(s):** Silvia Juliana Domínguez González\*\*

**Key Words:** Cocota, Tool, Ergonomics, Transport

#### Description:

This project is part of the overall goal of internal research project 2684 at the Industrial University of Santander, which aims to harness and provide value to cocoa husks generated within the crops, as it is the primary contaminating residue in the harvest.

It was primarily addressed through the activity of transporting cocoa pods from the cultivation area to the fermentation area, as it is currently done in a traditional manner using inadequate tools such as sacks carried on the shoulders of farmers. This happens because there are no products in the market that allow for the transportation of cocoa pods without causing musculoskeletal problems for the farmers.

In addressing this issue, in 2019, a thesis with code 21563 was conducted, which resulted in a system with ground anchoring but with unsatisfactory results for the research group. This was due to its static nature, high weight, and a system that was not very practical (issues with usability in assembly, such as the inefficiency of the adjustment screw and a large number of screws and nuts). Therefore, the goal was to design an ergonomic tool for the transportation of cocoa pods by cocoa farmers that would alleviate the strain on the musculoskeletal system of the farmers.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Industrial Design. Director: María Fernanda Maradei García. Doctorate in Engineering (ergonomics). Co-Director: Jenny Rodríguez. Master's in industrial engineering.

## Introducción

En Santander, la producción de cacao se caracteriza por una amplia tradición donde predomina el pequeño y mediano productor. Además, es una economía campesina con escasos recursos, especialmente de capital e infraestructura para la producción (Mantilla et al, 2000)

Los agricultores inician su actividad de cosecha recogiendo la mazorca (frutos de la cosecha) para luego transportarla en canastos elaborados por ellos mismos o en costales, hasta los sitios de acopio determinados en el cultivo. Una vez realizada esta tarea, proceden a desenguyarla (extraer el grano de cacao que se encuentra dentro de la mazorca), obteniendo estos granos de cacao que son transportados en costales hasta el punto de fermentación. Sin embargo, la cacota (la cáscara del cacao), es dejada en el cultivo, ya que de esta forma disminuyen la carga y el volumen que deben transportar. Este residuo de post-cosecha al ser abandonado en el cultivo sin ningún proceso de compostaje, genera problemas de sostenibilidad ambiental, pero, que al ser aprovechado puede utilizarse como una fuente energética para la cocción de alimentos (Delgado, 2018).

Por otro lado, los campesinos están sometidos a riesgos biomecánicos propios de la labor de cosecha a los que están expuestos los cultivadores, como son: la aplicación de fuerzas en diferentes direcciones, levantamientos y transporte de cargas, al igual que tareas con movimientos físicos repetitivos, como se evidencia en diferentes estudios (Milhem et al, 2016). Se sabe que el tipo de mecanización (herramientas o máquinas) usado por los cultivadores puede influir en las demandas musculoesqueléticas durante la ejecución de las actividades laborales, por tanto, esta intervención ergonómica está orientada a proponer soluciones que reduzcan dicha demanda (Health and Safety Statistics, 2013). Así, este proyecto pretende realizar el diseño de una

herramienta ergonómica, que no genere carga adicional sobre el raquis del campesino y que le permita transportar la mazorca de cacao.

El desarrollo de este proyecto siguió los lineamientos de la metodología del Diseño centrado en el usuario y busca contribuir a la mejora de las condiciones laborales de la población de los cacao-cultores y, en consecuencia, impulsar la economía local. El proyecto consideró aspectos teóricos y experimentales para el desarrollo de una herramienta para el transporte de la mazorca de cacao desde el cultivo hasta la zona de fermentación, que mitigó los factores de riesgo debidos al transporte de cargas sobre el cuerpo del campesino. Para la realización del proyecto se llevó a cabo un análisis del estado actual de la ejecución de esta tarea, el estudio inició con la identificación de deficiencias en el sistema de transporte de cosecha de cacao, lo cual proporcionó una base para la implementación de acciones correctivas y de mejoras en el sistema, en términos de diseño y ergonomía. Se llevaron a cabo diversas actividades de co-creación e iteración con los campesinos con el objetivo de adoptar un enfoque de diseño participativo, su presencia activa permitió generar propuestas de diseño que se ajustaran a sus necesidades y requerimientos. Finalmente, se validó el sistema propuesto en un ambiente en condiciones reales de la actividad de transporte y mediante el uso de modelos biomecánicos, se pudo evidenciar una reducción significativa de la carga biomecánica transmitida a las vértebras lumbares, propiciando un impacto positivo en el bienestar de los campesinos. Con la herramienta Caotero, los campesinos pueden llevar a cabo su actividad de cosecha de manera segura y eficiente gracias a que mitiga riesgos asociados con la carga, mejorando así la productividad y reduciendo el impacto negativo en su salud y bienestar.

## 1. Planteamiento del problema

Santander es un territorio agrícola, que a través de sus tierras productivas guarda gran tradición ancestral campesina, siendo un municipio productor del cual se abastecen muchas zonas del país. Hoy, en el departamento se destacan como principales elementos de producción agrícola la palma de aceite, el cacao y el café; los cuales reúnen alrededor de 150.000 toneladas por año en materia de exportación (Gaviria, 2022).

A nivel mundial, el cacao proporciona ingresos a más de 4.5 millones de familias. Asimismo, más de 350 mil personas practican la cacao-cultura familiar en la región de América Latina y el Caribe (Sánchez et al., 2019). La actividad se realiza de manera ancestral en millones de pequeñas granjas familiares (Medina et al, sf). Por sus exigencias climáticas y de lluvias, el cacao se cultiva hacia la zona denominada banda geográfica muy cerca al ecuador, donde la posición geográfica colombiana es estratégica por su condición de país tropical. De esta forma, el territorio colombiano se beneficia de una luminosidad permanente durante todo el año, al igual que la gran variedad de pisos térmicos y disponibilidad de recursos hídricos (Perdomo, 2012), hacen que se convierta en uno de los mejores productores de cacao según datos de Fedesarrollo (2014).

Santander es uno de los departamentos que cuenta con un gran número de pequeños productores, el 61,5% se concentran en predios entre 5 y 20 hectáreas. Cuenta con una superficie plantada en cacao de 55.396 hectáreas y con una población vinculada de 9.304 familias residentes (Ministerio de agricultura, 2020). Su localización agroecológica corresponde a tierras de cordillera, serranías y piedemontes, de relieve quebrado a escarpado con pendientes entre 25 y 50% (Mantilla et al., 2000).

Asimismo, el departamento cuenta con una amplia tradición en el cultivo, donde predomina el pequeño y mediano productor de economía campesina, con escasos recursos, especialmente de capital e infraestructura para la producción. Estas familias realizan las tareas de siembra, cultivo, cosecha y post-cosecha de manera tradicional, adoptando el uso de equipos y herramientas inapropiadas, e incluso, en algunos casos en mal estado para atender los cultivos de cacao (Sánchez et al., 2019).

Por tanto, para realizar la cosecha que inicia con la recolección de frutos (mazorca) maduros y posteriormente su almacenamiento y transporte, los agricultores hacen uso de canastas fabricadas por ellos mismos. Estas son de un material muy resistente, sin embargo, desde el factor humano se observa que, al sujetarse con fajas a la altura de la frente o en los hombros del agricultor, la distribución de las cargas en el cuerpo es inadecuada, generando la posibilidad de lesiones músculo esqueléticas (Gavilánez, 2017). Luego, el cacao almacenado en estos contenedores es dejado en puntos estratégicos del cultivo, para proceder a realizar la desenguyada, etapa donde se desecha la cacota y se extrae el grano. Sin embargo, debido al poco conocimiento que se tiene actualmente sobre sus posibles usos, la cacota es considerada un residuo de la cosecha por lo cual se acumula en las cercanías de la finca sin ningún tipo de tratamiento o proceso. Además, que lo hacen para disminuir el volumen y la carga a transportar hasta los puntos de fermentación, ya que esta es peso adicional, visto como innecesario. Esto, desencadena la descomposición en el suelo del cultivo, hasta que se fermenta espontáneamente y se constituye en un sustrato que propaga microorganismos patógenos al cultivo (Ortiz, 2013). Además, la forma cóncava de las cáscaras en épocas de lluvias, son depósito de agua que facilitan la multiplicación de insectos. Estos se convierten en foco para la propagación de enfermedades como la *Phytophthora* spp (López et al, 1985).

Sin embargo, la cacota está lejos de ser un simple desecho post-cosecha. En este sentido, en el proyecto de investigación interna 2684 de la Universidad Industrial de Santander se propuso valorizar la cacota de cacao. De esta forma, se puede usar como fuente de biomasa para generar energía térmica, utilizando la tecnología de micro gasificación de biomasa seca, generando menos contaminación en el aire por CO<sub>2</sub> y material particulado (Sánchez, 2013).

Por otro lado, en el modo de realizar la actividad de transporte de la cosecha, el panorama en las condiciones de ejecución se puede evidenciar la falta de higiene postural y de la aplicación de principios de ergonomía, debido al uso de herramientas deficientes para esta actividad (Caicedo et al, 2012).

De hecho, la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el trabajo manifiesta que los trastornos músculo-esqueléticos constituyen un problema especial en la agricultura. Casi el 60% de los campesinos adoptan posturas dolorosas en el trabajo durante la mitad del tiempo en el que laboran, siendo este el sector con el porcentaje más alto. Casi el 50% manipulan cargas pesadas la mitad del tiempo y más del 50% están expuestos a movimientos repetitivos (Tilano et al, 2020).

Con base en lo anterior, y considerando, que la evidencia muestra que la implementación de herramientas o máquinas usadas influye en las demandas musculo-esqueléticas durante la ejecución de las actividades laborales (Health and Safety Statistics, 2013) nace este proyecto. Por tanto, se pretende mejorar las condiciones laborales y ambientales en los cultivos de cacao de escala familiar mediante la propuesta de una herramienta con calidad ergonómica, que permita el transporte de la mazorca de cacao desde la cosecha hasta los puntos de fermentación, en cultivos de escala familiar.

Cabe resaltar, que hace unos años se realizó un trabajo de grado (código 21563) con este propósito, cuyo resultado fue un sistema de anclaje a tierra de característica estáticas. Los

investigadores del proyecto realizaron un análisis técnico, ergonómico y de usabilidad a este, obteniendo resultados desfavorables. Entre los hallazgos están que los factores de postura, carga y repetición no se cumplen debido a la necesidad de transportar, no solo la mazorca o el grano, sino al transporte del mismo sistema diseñado para poder armarlo en los lugares escogidos por los campesinos. Asimismo, la eficacia en términos de tiempo de armado por persona no cumple, ya que la topografía e indicadores del equipo diseñado son diferentes, careciendo de elementos que permitan entender la secuencia de armado. Por último, el análisis técnico concluyó que el uso de elementos pequeños no es adecuado en el contexto de campo porque se pueden perder, y no son de ajuste manual. En términos generales, se evidenció fallas en el proceso de manufactura y estabilidad que no lo hacen apto para transportar la mazorca de cacao.

De esta forma, nació este proyecto, el cual busca responder la siguiente pregunta de diseño: ¿Cómo diseñar una herramienta con calidad ergonómica para el transporte de la mazorca de cacao en cultivos de escala familiar, que se adapte a las características de los terrenos en el departamento de Santander?

## 2. Justificación

Las actividades agrícolas han representado a través de la historia una de las labores más importantes o por qué no decirlo la más relevante, teniendo como finalidad suministrar a millones de personas a nivel mundial el sustento alimenticio.

Sin embargo, la agricultura no solo produce alimento hoy en día. Además, se está aprovechando el uso de los residuos de la cosecha y post-cosecha para generar nuevos productos. Estos residuos tienen múltiples aplicaciones como, por ejemplo, fuente de biomasa para generar energía térmica, utilizando la tecnología de micro gasificación de biomasa seca. Dicha tecnología reduce la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y elimina los residuos (Lucas A, Peso C, Rodríguez E y Prieto P, 2012).

Al plantear el uso del residuo post-cosecha del cacao como fuente energética para la cocción de alimento, se evidenció que hay una problemática que gira en torno a esto. El proceso de transporte de la mazorca de cacao se trabaja bajo un sistema tradicional de cultivo lo que conlleva a que el proceso de desenguyada, el cual se realiza en los puntos de acopio, es dejada la cacota de cacao con el fin de disminuir el peso que llevan los cacao-cultores al hombro. Así que desde ese punto solo transportan los granos de cacao hasta la zona de fermentación.

De igual modo, la actividad de cosecha y transporte de la mazorca se dificulta, ya que los terrenos donde normalmente se siembra el cacao tiene pendientes entre 25 y 50% que equivale a un rango entre 26° a 35° de inclinación (Mantilla et al., 2000). Sumado a lo anterior, el material vegetal muerto como la hojarasca, que forma una cubierta orgánica sobre el terreno, impide el buen paso de los agricultores por el cultivo, traduciéndose en un incremento del riesgo de deslizamientos y caídas. Por tanto, la manipulación y el transporte de cargas en este tipo de

circunstancias constituye un problema específico que puede provocar molestias y lesiones, sobre todo en la espalda. Lo anterior, es un factor importante de sobrecarga muscular con aparición inmediata o debido a la acumulación de pequeños traumatismos acumulativos (Ministerio de trabajo y asuntos sociales, 1997).

Se pretende al final de este trabajo de grado, mejorar las condiciones laborales y ambientales en los cultivos de cacao de escala familiar. Alcance que se obtendría al introducir una herramienta con calidad ergonómica, que facilite el transporte de la mazorca de cacao y a su vez, que garantice el cuidado del cacao-cultor y del cultivo

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar una herramienta con calidad ergonómica para el transporte de la mazorca de cacao en cultivos de escala familiar, que se adapte a las características de los terrenos y mitigue los riesgos de carga sobre la espalda baja.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Estudiar junto a los campesinos, la actividad de cosecha de cacao a escala familiar que permita identificar las necesidades y deseos relacionados con el transporte de la mazorca de cacao desde los puntos de recolección.

Establecer los parámetros y restricciones de la propuesta a diseñar que mitiguen la carga en la espalda baja del campesino sin afectar el desarrollo correcto de la actividad de cosecha.

Proponer algunas ideas plausibles en procesos de co-creación con los campesinos que cumplan con las necesidades y deseos plasmados por ellos.

Evaluar las alternativas seleccionadas en campo a partir de pruebas de verificación desde los aspectos técnicos, funcionales, ergonómicos y de usabilidad.

Validar la propuesta de diseño a partir de un prototipo en entorno real, que responda a la pregunta de diseño.

## 4. Marco teórico

### 4.1 Marco referencia conceptual

#### 4.1.1 Definiciones básicas

**4.1.1.1 Mazorca.** El fruto del cacao, *Theobroma cacao* L, denominado comúnmente mazorca, consiste en una cáscara relativamente gruesa, oblonga a ovada, amarilla o purpúrea, de 15 a 30 cm de largo por 7 a 10 cm de diámetro. Su interior encierra un número muy diverso de semillas, entre 20 y 50, dispuestas normalmente en cinco hileras y sumergidas en una pulpa mucilaginosa de color blanco y sabor azucarado (Braudeau, 1970).

#### Figura 1

*Fruto del cacao*



Nota. Tomado de: <http://www.sobreestoyaquello.com/2017/08/theobroma-cacao-el-alimento-de-los.html>

**4.1.1.2 Cacota.** Es un residuo del proceso post cosecha del cacao. Representa aproximadamente el 70 y 75% del peso del fruto entero. (Lu, y otros, 2018).

#### Figura 2

*Cacota o cáscara de cacao*



*Nota.* Tomado de: <https://www.vanguardia.com/economia/nacional/helado-de-chocolate-pero-en-la-cascara-del-cacao-ASVL190321>

#### ***4.1.2 Situación nacional***

**4.1.2.1 Cacao en Colombia.** Debido a la posición geográfica, Colombia cuenta con las condiciones para la siembra de este fruto, en donde actualmente se cultivan tres tipos de cacao: el criollo, forastero e híbrido.

En los últimos años, la balanza comercial de este grano ha presentado un comportamiento positivo. Es así que, su producción en el año 2020 fue de 63 mil toneladas, con una participación del departamento de Santander de 27 mil toneladas (42%), seguido de Antioquia con 5,6 mil toneladas (8,8%) y Arauca con 4,8 mil toneladas (7,6%); con un área sembrada de 189 mil hectáreas (Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios, 2020).

FEDECACO (Federación Nacional de Cacaoteros) afirma que en Colombia este cultivo beneficia a más de 25.000 familias, principalmente campesinas ubicadas en 25 departamentos en cuatro regiones catalogadas por la federación: Montaña Santandereana, Bosque Húmedo Tropical,

Región andina y Valles Interandinos secos; dentro de las cuales se encuentran los principales departamentos productores como Santander, Huila, Arauca, Antioquia y Norte de Santander (Serrano, 2009)

Estudios previos han señalado que aproximadamente el 78,3% de las explotaciones de cacao del país, poseen tecnologías de producción baja, el 22,9% poseen tecnologías de nivel medio y menos del 1%, poseen tecnologías altas de producción.

Asimismo, se ha identificado que el manejo postcosecha de los granos de cacao en las fincas productoras posee cierto retraso tecnológico debido a que son tradicionales y de economía campesina, donde las actividades productivas se reducen a labores básicas que demandan gran mano de obra por parte de los cultivadores (Sánchez et al., 2019).

#### ***4.1.3 Cacao en Santander***

El primer productor de cacao en el país desde hace muchos años ha sido el departamento de Santander, especialmente en la zona de los municipios de El Carmen y San Vicente de Chucurí, característicos por la cantidad y la calidad del fruto (Mojica y Paredes, 2006) y catalogados como los grandes productores.

Asimismo, se evidencia otros municipios como Cimitarra, El playón, Lebrija, Rionegro y Landázuri con porcentajes de producción de 2%, 3%, 7%, 13% y 15% respectivamente; caracterizados por plantaciones que se distribuye mayoritariamente en fincas entre tres y diez hectáreas y por tener cultivos de escala familiar (Mojica y Paredes, 2006), objetivo de esta investigación. Es así que cerca de 18.000 familias dependen económicamente del cultivo de cacao.

En su mayoría, son pequeños agricultores que trabajan en áreas con una extensión de alrededor de 4,8 hectáreas. La mano de obra familiar tiene alta participación en el manejo de la plantación y su dinámica de producción esta diversificada (cultivos de cacao, cultivos transitorios, cultivos de cítricos y ganadería en pequeña escala), teniendo como eje principal la producción del

cacao seco para su venta. Toda esta dinámica les permite tener sus ingresos para el sostenimiento de las familias (Jaimes et al, 2021).

#### **4.1.4 Condiciones del cultivo y el suelo**

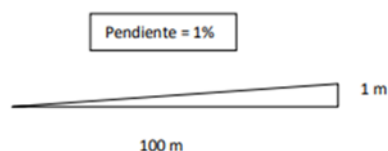
El cultivo de cacao o *Theobroma cacao* es un árbol perenne que requiere condiciones cálidas y húmedas para su desarrollo y no resiste periodos prolongados de sequía.

Se debe cultivar idealmente en pendientes con inclinaciones inferiores al 50%, ya que las inclinaciones superiores dificultan el establecimiento del cultivo y prácticas como la poda, el manejo fitosanitario, la fertilización y la cosecha. Las pendientes más pronunciadas presentan alto riesgo de erosión durante el primer año del cultivo de cacao, puesto que en tales casos el suelo se encuentra casi desnudo (García et al., 2007).

Cabe aclarar, que las pendientes son un declive del terreno en relación con el plano horizontal. Esta se mide frecuentemente en porcentajes. Una pendiente de 1%, como se observa en la Figura 3. Representación de la pendiente, es aquella que en una distancia de 100 m experimenta un desnivel de 1 m y puede ser de subida o de bajada (Fierro, 2014).

### **Figura 3**

*Representación de la pendiente*



*Nota.*

Tomado

de:

[http://ffyl1.uncu.edu.ar/IMG/pdf/GUIA\\_PARA\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_LA\\_INFORMACION\\_PENDIENTES.pdf](http://ffyl1.uncu.edu.ar/IMG/pdf/GUIA_PARA_TRATAMIENTO_DE_LA_INFORMACION_PENDIENTES.pdf)

Así mismo, el suelo presenta una textura, dada por 30% de arcilla, 50% de arena y 20% de limo. Este tipo de composición se suele denominar suelo franco (textura moderadamente fina) que tiene una elevada productividad agrícola, es relativamente suelta (propiciada por la arena), fértil (aportada por los limos) y adecuada retención de humedad (favorecida por la arcilla).

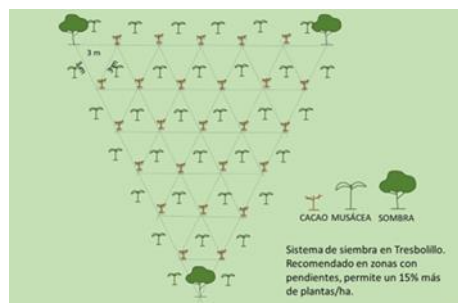
Es por esto que, debido a la inclinación y la composición del suelo, la actividad de transporte de cacao presenta mayor dificultad para realizarse debido a la gravedad, posibles deslizamientos por la composición del suelo y cantidad de material biológico seco y semi húmedo (hojas, ramas, cacotas, piedras, entre otros).

#### 4.1.5 Manejo agronómico del cultivo

**4.1.5.1 Trazado de la plantación.** El trazado consiste en marcar con estacas los sitios donde se va a establecer el cultivo de cacao. De acuerdo con Angarita (2009), el método más utilizado en Santander es el del triángulo, ya que se adapta mejor a la topografía de las zonas cacaoteras, permite un manejo adecuado del suelo disminuyendo la erosión, optimiza el uso del terreno y se asegura una mejor distribución de las copas en el espacio aéreo (Aranzazu, 1997), como se observa en la Figura 4.

#### Figura 4

*Diagrama de siembra trazado en triángulo*



*Nota.* Tomado de: <https://poscosechacacao.blogspot.com/2021/08/establecimiento-plantacion-cacao-trazado.html>

La cosecha del cacao consiste en el corte de las mazorcas maduras que se identifican por el color amarillo o naranja en la cáscara, como se observa en la Figura 5. Corte de cosecha.

### **Figura 5**

*Corte de cosecha*



*Nota.* Tomado de: <https://proceso.hn/compania-suiza-financiara-cultivo-de-cacao-organico-en-honduras/>

Una vez cortadas, se almacenan en un balde estándar y/o sacos de fibra. Son transportadas hasta los diferentes puntos de acopio dentro del cultivo mediante la ubicación del el saco o balde sobre el hombro o la espalda del cultivador, como se muestra en la Figura 6. Transporte tradicional distribuyendo incorrectamente la carga de la cosecha en secciones del cuerpo que pueden producir lesiones músculo esqueléticas, ya sea por el peso y/o la distribución inadecuada en el cuerpo.

**Figura 6**

*Transporte tradicional*



*Nota.* Tomado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7575>

Posterior a esto, como se observa en la Figura 7. Corte de la cacota y desenguyada, se ubican todas las mazorcas sobre un espacio de almacenamiento del cultivo y allí se desenguyan. Esta acción consiste en quebrar la mazorca (fruto del cacao) con un machete pequeño, mazo o cuchillo; para extraer los granos de cacao separándolas de la placenta.

**Figura 7**

*Corte de la cacota y desenyugada*



*Nota.* Tomado de: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/06/explicacion-paso-paso-lacosecha-y-el-procesamiento-del-cacao/>

Una vez se extraen los granos, los ubican en un balde o saco limpio (Guía de Buenas Prácticas de Cosecha, Fermentación y Secado Para La Producción de Cacaos Especiales, s.f.) para ser llevados hasta la zona de fermentación, nuevamente al hombro, pasar por un proceso de secado y, finalmente, son vendidos (Gaviláñez, 2017).

#### 4.2 Análisis de los productos del mercado

Es importante resaltar que la actividad de recolección y transporte de la mazorca o el grano de cacao se ve condicionada por la morfología del terreno, el sustrato del suelo, la maleza y el tamaño del árbol de cacao que dificulta el uso de maquinaria mecanizada al contexto de uso. Por lo tanto, los sistemas adaptados a este contexto son de tipo manual.

En la Tabla 1, se sintetiza el análisis de los productos que ofrece el mercado, utilizados por el método tradicional, al igual que algunas propuestas nuevas planteadas para solventar esta problemática.

**Tabla 1.**

##### *Benchmarking*

	Saco de fibra	Balde estándar	Backpark	Dispositivo para el transporte de la mazorca de cacao
				
<b>Función principal</b>	Almacenamiento de productos varios.	Almacenamiento de productos varios.	Transporte de la mazorca de cacao	Transporte de la mazorca de cacao

<b>Color</b>	Blanco o con líneas de colores verdes, rojas y/o amarillas.	Color blanco, amarillo, azul, gris, naranja, rojo.	Contenedor: Negro Estructura: Gris y blanco	Estructura principal: gris Elementos de unión y movimiento: rojo
<b>Material</b>	Fabricado por tejido con fibras.	Contenedor: PP. -Manija: Polietileno de alta densidad PE. - Tapa: PE y acero galvanizado.	Tela y tubos de PVC	Acero inoxidable
<b>Dimensiones</b>	Fabricado por tejido con fibras.	30x25 cm. Capacidad de 20 litros.		Capacidad para transportar 20.8 kg
<b>Peso</b>	91 gr	870 gr con manija.	15000 gr	36000 gr
<b>Ventajas</b>	-Las dimensiones permiten contener mayor cantidad de fruto.  -Liviano para cargar al hombro  -Fácil descargue del fruto sobre el suelo.		Distribuye mejor la carga en el tronco respecto del “saco”	No existe peso sobre el cuerpo del campesino
<b>Desventajas</b>	-El volumen del “saco” estando en el hombro posibilita los volcamientos.  -El riesgo al levantar el “saco” con carga desde el suelo hasta el hombro	-El riesgo al levantar el balde con carga desde el suelo hasta el hombro  -La forma no permite contener mayor cantidad de mazorcas y genera más peso  -Por el tipo de material se presenta	presión en la piel del campesino  Al ser un elemento que se sujeta directamente en la espalda del usuario y teniendo en cuenta las inclinaciones de los terrenos es más propenso a presentar volcamientos generando más traumatismo.	-El uso de elementos pequeños (tuercas,tornillos) no es adecuado en el contexto de campo porque se pueden perder  -Al ser un dispositivo de anclaje al piso, presenta inestabilidad por las condiciones de irregularidad en el terreno.  -Carece de elementos que permitan entender la secuencia de armado

De esta manera se puede concluir que el saco de fibra y el balde estándar son adaptaciones realizadas por los campesinos en su necesidad de almacenaje durante la cosecha sin tener en cuenta los cuidados que debe tener el fruto y la salud de la persona que lo usa. Por otra parte, el backpack y el dispositivo para el transporte de mazorca de cacao han sido diseñados bajo parámetros ergonómicos, la indagación y el análisis de la tarea de cosecha de mazorca de cacao, donde son

construidos con los criterios de cuidado de salud de los cacao-cultores pero que requieren mejoras, con el fin de que la carga no siga estando ubicada directamente en la espalda al igual que no permita realizar el transporte en las condiciones reales del terreno.

### **4.3 Riesgos en la agricultura**

Debido a que la pregunta de diseño y el objetivo del proyecto están encaminados a mitigar factores de riesgo asociados a carga en la actividad de transporte de la mazorca de cacao, es necesario entender que la presencia de este factor de riesgo conlleva consecuencias relacionadas a trastornos músculo-esqueléticos (TME). De igual manera que se presentan posturas forzadas y movimientos repetitivos, que en conjunto, ocasionan numerosos trastornos musculares y óseos (Secretaría de Salud Laboral, 2008).

Para el caso del cultivo del cacao, existe un antecedente de estudio realizado con población que cosecha de cacao, que detecta la existencia de síntomas músculo esqueléticos con presencia de dolor de cuello, hombros y zona lumbar durante la etapa de cosecha y transporte de la mazorca de cacao (Gavilanez et al., 2021). Estos dolores en la zona lumbar están asociados principalmente con el trabajo físico y obedecen a las exigencias propias de la actividad.

Es así que, teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, se busca realizar mejoras en la actividad de transporte de mazorca de cacao, teniendo en cuenta a la Ergonomía. Esta disciplina, definida por la Organización internacional del trabajo (OIT), integra conocimientos de la anatomía, la psicología y la fisiología; tiene como objeto adaptar productos, puestos de trabajo, sistemas y factores ambientales a las posibilidades y limitaciones físicas y mentales de la población cacaotera.

#### **4.4 Metodología de valoración ergonómica**

##### ***4.4.1 Método OWAS***

El método OWAS (Ovako Working Analysis System) permite la valoración de la carga física derivada de las posturas adoptadas durante el trabajo con el fin de reconocer posturas críticas y determinar acciones correctivas necesarias para mejorar su ejecución. Se caracteriza por su capacidad de valorar, de forma global, todas las posturas adoptadas durante el desempeño de la tarea mediante el planteamiento de categorías de riesgo. OWAS puede considerar múltiples posturas a lo largo del tiempo (Diego-Mas, 2015) mediante observación de intervalos regulares, en este caso se determinó como intervalo la tarea de transporte de la mazorca de cacao, desde el cultivo hasta la zona de fermentación.

### 5. Metodología

El desarrollo de la investigación se realizó bajo la metodología del diseño centrado en el usuario, los lineamientos de las actividades se siguieron a partir de los objetivos específicos del proyecto. Se divide en las siguientes fases: entender el contexto del usuario, especificar requerimientos del usuario, diseño de soluciones y evaluación de resultados.

**Figura 8**

*Metodología Diseño centrado en el usuario*



En esta imagen se organiza la metodología en las siguientes fases: 1. Entender el contexto del usuario con cuatro actividades que permiten identificar el perfil del usuario mediante sus necesidades, deseos y limitaciones; 2. Especificar requerimientos del usuario definir lineamientos de diseño que permitan tomar decisiones en el planteamiento de soluciones, todo alineado a las necesidades y deseos del usuario; 3. Diseño de soluciones para definir alternativas de soluciones con especificaciones técnicas, basadas en el cumplimiento de los requerimientos y 4. Evaluación de resultados, realizado en el contexto y usuarios reales para mostrar una solución definida.

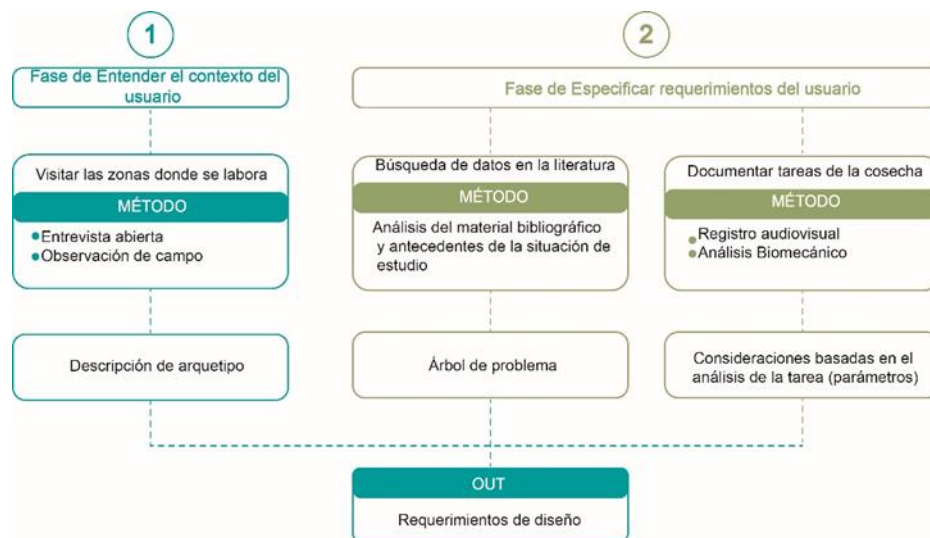
De esta manera, se especificará en el apartado 6. Ejecución del proyecto, las herramientas, hallazgos y conclusiones con las cuales se tomaron las decisiones para llegar a la respuesta de la presunta de diseño.

## **6. Ejecución del proyecto**

A continuación, se detallará la ejecución de la metodología planteada en cada una de las 4 fases, determinando los hallazgos obtenidos para la toma de decisiones y cumplir con el objetivo del proyecto. Para la fase 1 (entender el contexto del usuario) y la fase 2 (Especificar los requerimientos del usuario) se documentará toda la información en el apartado 6.1 debido a que se realizaron de manera paralela. Por otra parte, la fase 3 y fase 4 se documentarán en los apartados 6.2 y 6.3 respectivamente.

### **6.1 Fase 1. Entender el contexto del usuario y especificar los requerimientos del usuario.**

La fase de consulta, relacionada al primer objetivo específico, buscó estructurar los primeros acercamientos al entorno donde se cosecha la mazorca de cacao para el correcto entendimiento del contexto y los usuarios involucrados. La fase de análisis, relacionada al segundo objetivo específico, se divide a su vez en dos etapas compuestas por la documentación de la tarea de cosecha en un entorno real y la síntesis del material bibliográfico perteneciente a los antecedentes de estudio. En la figura 9 se resumen las tareas, métodos y outputs de estas dos primeras fases.

**Figura 9***Diagrama de actividades fase de consulta y análisis*

### 6.1.1 Información del contexto

Con el propósito de obtener información detallada sobre el entorno del campesino y realizar un análisis de las zonas productoras identificando las áreas de producción (zona del cultivo y zona de fermentación en un cajón de madera), se llevaron a cabo dos visitas técnicas. La primera de ellas se realizó el día 06 de agosto de 2022 en la vereda San Nicolás alto del Municipio de Lebrija, Santander debido a que, en el apartado 4.1.3. Cacao en Santander, se identificó a este municipio como un pequeño productor de cacao.

**Figura 10**

*Entorno, áreas de producción, dinámica y proceso de recolección con visita a campo*



De esta manera, como se observa en la Figura 10, el terreno representa un condicionante para la incorporación de maquinaria al cultivo, por sus pendientes de 58% equivalentes a 30° de inclinación. También, la condición del suelo es montañosa y plana en algunos sectores, es un bosque seco tropical y la distancia que hay entre arboles es aproximadamente de 3 m.

Estas condiciones, combinadas con las características del cultivo, como se muestra en la figura 11. Características del terreno, con la acumulación de ramas, hojas y cacota de cacao contribuyen a la dificultad del paso por el mismo. Como resultado, el suelo se vuelve resbaladizo debido a la humedad y al material orgánico. En cuanto al árbol de cacao, puede alcanzar los dos o tres metros de altura y 2 a 4 metros de ancho.

**Figura 11***Características del terreno*

En esta misma visita, se recopiló material audiovisual para poder observar de manera detallada la tarea de transporte de la mazorca de cacao y definir características morfológicas de los contenedores utilizados en esta etapa. En busca de un panorama más amplio de los sistemas empleados actualmente.

También se identificaron las áreas de producción, entendiéndolas como el terreno cultivado en cacao, el cual oscila entre 5000 a 10000 m<sup>2</sup>. Allí se realiza la cosecha de la mazorca de cacao, la cual presenta un tamaño que oscila entre 18 a 20 cm (Ver figura 12), según la información suministrada por los cacao-cultores de las fincas de la vereda San Nicolás Alto, se obtuvo el dato aproximado del peso de la mazorca de cacao, el cual corresponde a 800 gramos. Los cacao-cultores transportan como mínimo aproximadamente de 27,2 kg de cacao, equivalentes a 34 mazorcas y un máximo de 40 kg (Apéndice A).

**Figura 12**

*Tamaño de la mazorca de cacao*



El peso transportado, se encuentra por encima del máximo recomendado para un levantamiento de carga. Según la literatura, el máximo recomendado es de 23 kg denominado Constante de Carga (LC). Límite permite ser levantado sin problemas por el 75% de las mujeres y el 90% del hombre (Diego-Mas, 2015).

**6.1.2 Información del usuario**

Por otra parte, en la información específicamente del usuario se realizó una entrevista a dos campesinos evidenciando que en las fincas usualmente el personal de trabajo está constituido por núcleos familiares compuesto de padres, hijos y parientes cercanos; en su mayoría hombres. En estos dos casos se identifica que los hombres son los que realizan las labores pesadas en las fincas, como la recolección de la cosecha y mantenimiento de los cultivos (Apéndice 1).

Finalmente se describieron las características del trabajador por medio de la herramienta arquetipo de usuario, definiendo (2) dos perfiles de usuario que las agrupan: 1. Trabajador persona adulta y 2. Trabajador persona adulto mayor, ilustrado en la Figura 13.

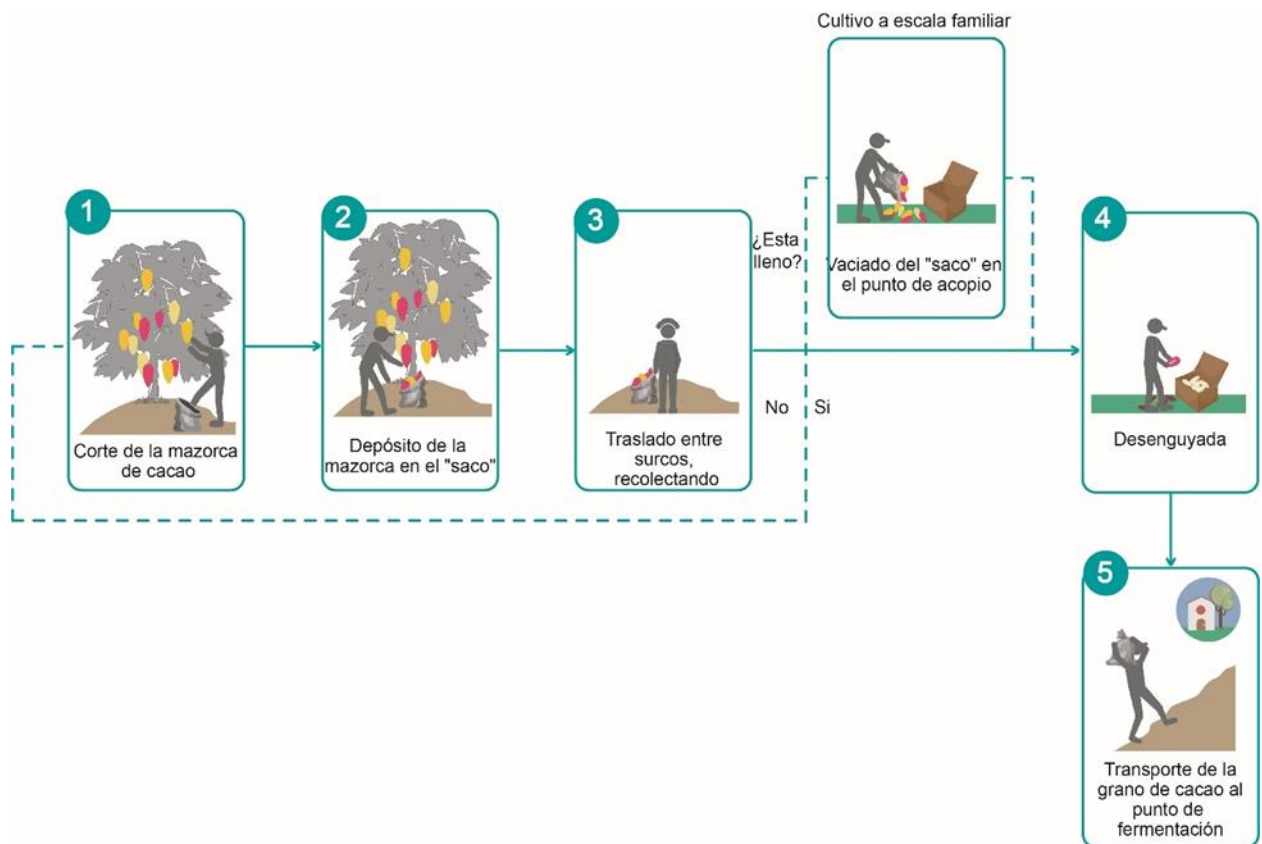
**Figura 13**

*Arquetipo de usuario persona adulta y persona mayor*



De esta manera pudimos confirmar que en la vereda de San Nicolás alto hay cultivos de cacao a escala familiar. Los hombres en su mayoría son los que realizan la labor de cosecha de la mazorca de cacao, y buscan cuidar su salud y mejorar la productividad de sus fincas.

**6.1.2.1 Análisis de la actividad del transporte de la mazorca de cacao.** Una vez entendiendo al usuario y encontrando características claves, se recolectó información relacionada directamente a la actividad del transporte de la mazorca de cacao desde el cultivo hasta la zona de fermentación, como se muestra en la Figura 14. Tareas de recolección y transporte de la mazorca de cacao. En este sentido es importante resaltar, que los terrenos tienen una inclinación de 25 a 30 grados por lo cual deciden utilizar herramientas livianas que les permita subir por estos terrenos para desarrollar sus labores sin esfuerzos adicionales.

**Figura 14***Tareas de recolección y transporte de la mazorca de cacao*

**6.1.2.2 Herramienta utilizada en el transporte de la mazorca de cacao.** A partir de las tareas observadas anteriormente, se obtuvo que, por las condiciones del cultivo e inclinación del terreno los campesinos utilizan un "saco de fibra" durante la jornada de recolección y transporte de la mazorca de cacao. El tipo de contenedor está condicionado por la ubicación del punto de fermentación, puesto que en su mayoría este se encuentra cerca de la vivienda, es decir a varios metros del cultivo.

Por ese motivo, el trabajador utiliza los sacos porque son más fáciles de manipular mientras se va depositando la mazorca recolectada por los surcos. Luego, deben ser trasladados al punto de fermentación, por lo que el trabajador carga el "saco" sobre el hombro o su espalda para

transportarlo, como se puede observar en la Figura 15. Transporte tradicional de la mazorca de cacao.

**Figura 15**

*Herramienta transporte tradicional de la mazorca de cacao*



Una vez caracterizada la forma tradicional para el transporte de la carga, se continuó con la metodología realizando el análisis postural y biomecánico para entender, con mayor profundidad, esta situación.

**6.1.2.3 Análisis de postura durante la tarea con el método OWAS.** El 15 de agosto de 2022, se realizó la segunda visita de campo a la vereda San Nicolás alto con el objetivo de recopilar las posturas globales adoptadas durante la tarea de recolección y transporte de mazorca de cacao. (Figura 16). Los insumos obtenidos durante esta visita contribuyeron al cumplimiento de las actividades propuestas en el objetivo específico número 2.

Los datos fueron obtenidos sobre una muestra de 3 cultivadores seleccionados de forma no probabilística a conveniencia, los tres del sexo masculino. El estudio se ajustó a los principios de la resolución 8430 de 1993 catalogado sin riesgo, además se garantizó la confidencialidad de los datos y el uso de consentimiento informado verbal de cada participante. Para la captura de las posturas globales se ubicaron estratégicamente la cámara en la vista lateral derecha o izquierda y

se le pidió los trabajadores que realizaran la tarea de traslado del “saco” con carga desde el cultivo hasta el punto de fermentación, se generaron videos con una duración correspondiente al término de la tarea.

La información audiovisual obtenida fue sometida a un análisis observacional para valorar de forma global las posturas adoptadas durante el desempeño de la tarea del transporte de la mazorca de cacao. Esto permitió categorizar los riesgos y proponer acciones correctivas.





### Figura 16

*Posturas adoptadas en la tarea de transporte de la mazorca de cacao*



A través del método de OWAS se realizó el análisis de la tarea asignada a cada cacao-cultor, para registrar las posturas. A cada una se le asignó un código de postura conformado por cuatro dígitos conforme lo establece el método. El primer dígito dependió de la posición de la espalda del cacao-cultor (figura 17), el segundo de la posición de los brazos (figura 18), tercero de la posición de las piernas (figura 19) y cuarto de la carga manipulada (figura 20).




**Figura 17***Codificación de las posiciones de la espalda*

Posición de la espalda	Código	Postura
<b>Espalda derecha</b> El eje del tronco del trabajador está alineado con el eje caderas-piernas	1	
<b>Espalda doblada</b> Puede considerarse que ocurre para inclinaciones mayores de 20° (Mattila et al., 1999)	2	
<b>Espalda con giro</b> Existe torsión del tronco o inclinación lateral superior a 20°	3	
<b>Espalda doblada con giro</b> Existe flexión del tronco y giro (o inclinación) de forma simultánea	4	

*Nota.* Elaboración propia basada en los datos de:

<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>








**Figura 18***Codificación de las posiciones de los brazos*

Posición de los brazos	Código	Postura
<b>Los dos brazos bajos</b> Ambos brazos del trabajador están situados bajo el nivel de los hombros	1	
<b>Un brazo bajo y el otro elevado</b> Un brazo del trabajador está situado bajo el nivel de los hombros y el otro, o parte del otro, está situado por encima del nivel de los hombros	2	
<b>Los dos brazos elevados</b> Ambos brazos (o parte de los brazos) del trabajador están situados por encima del nivel de los hombros	3	

*Nota.* Elaboración propia basada en los datos de:

<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>




**Figura 19***Codificación de las posiciones de las piernas*

Posición de las piernas	Código	Postura
<b>Sentado</b> El trabajador permanece sentado	1	
<b>De pie con las dos piernas rectas</b> Las dos piernas rectas y con el peso equilibrado entre ambas	2	
<b>De pie con una pierna recta y la otra flexionada</b> De pie con una pierna recta y la otra flexionada con el peso desequilibrado entre ambas	3	
<b>De pie o en cuclillas con las dos piernas flexionadas y el peso equilibrado entre ambas</b> Puede considerarse que ocurre para ángulos muslo-pantorrilla inferiores o iguales a 150° (Mattila et al., 1999). Ángulos mayores serán considerados piernas rectas	4	
<b>De pie o en cuclillas con las dos piernas flexionadas y el peso desequilibrado</b> Puede considerarse que ocurre para ángulos muslo-pantorrilla inferiores o iguales a 150° (Mattila et al., 1999). Ángulos mayores serán considerados piernas rectas.	5	
<b>Arrodillado</b> El trabajador apoya una o las dos rodillas en el suelo.	6	
<b>Andando</b> El trabajador camina	7	

*Nota.* Elaboración propia basada en los datos de:

<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>

**Figura 20***Codificación de la carga y fuerzas soportada*

Carga o fuerza	Código	
<b>Menos de 10 kg</b>	1	
<b>Entre 10 y 20 kg</b>	2	
<b>Mas de 20 kg</b>	3	

*Nota.* Elaboración propia basada en los datos de:

<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>

Se puede observar en la figura 21, la codificación de las posiciones de los tres participantes, respectivamente en espalda, brazos, piernas y se consideró una carga mayor de 20 kg.

**Figura 21**

*Codificación de las posiciones de la espalda, brazos, piernas y la carga*

Codificación de las posiciones				
	Espalda	Brazos	Piernas	Carga
Participante 1	4	3	7	3
Participante 2	2	3	7	3
Participante 3	2	3	7	3

Existen categorías de riesgo 1. Postura normal y natural sin efectos dañinos en el sistema músculo esquelético, riesgo 2. Postura con posibilidad de causar daño al sistema músculo-esquelético, riesgo 3. Postura con efectos dañinos sobre el sistema músculo-esquelético, y riesgo 4. La carga causada por esta postura tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético.

**Figura 22**

*Categorías de Riesgo por Códigos de Postura*

Espalda	Brazos	Piernas																				
		Carga 1			Carga 2			Carga 3			Carga 4			Carga 5			Carga 6			Carga 7		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	4	4	3	4	3	3	4	2	3	4	2	3
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4

Nota. Tomada de: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>

Para conocer a que categoría pertenece cada riesgo se usó la figura 22. Ejemplo para el participante 1, se ubica en codificación de espalda con código 4 en línea recta se guía en la posición de brazos con código 3, posteriormente se interseca con la fila de pierna código 7 y finalmente carga código 3. Dando como resultado del análisis observacional una categoría de riesgo 4, lo que significa una acción correctiva inmediata, como se muestra en la figura 23.

### Figura 23

#### *Acciones correctivas*

Categorías de Riesgo			
	Categoría	Efectos de la postura	Acción requerida
Participante 1	<u>4</u>	La carga causada por esta postura tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético	Se requiere tomar acciones correctivas inmediatamente
Participante 2	<u>4</u>	La carga causada por esta postura tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético	Se requiere tomar acciones correctivas inmediatamente
Participante 3	<u>4</u>	La carga causada por esta postura tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema músculo-esquelético	Se requiere tomar acciones correctivas inmediatamente

*Nota.* Resultados de la aplicación del método OWAS

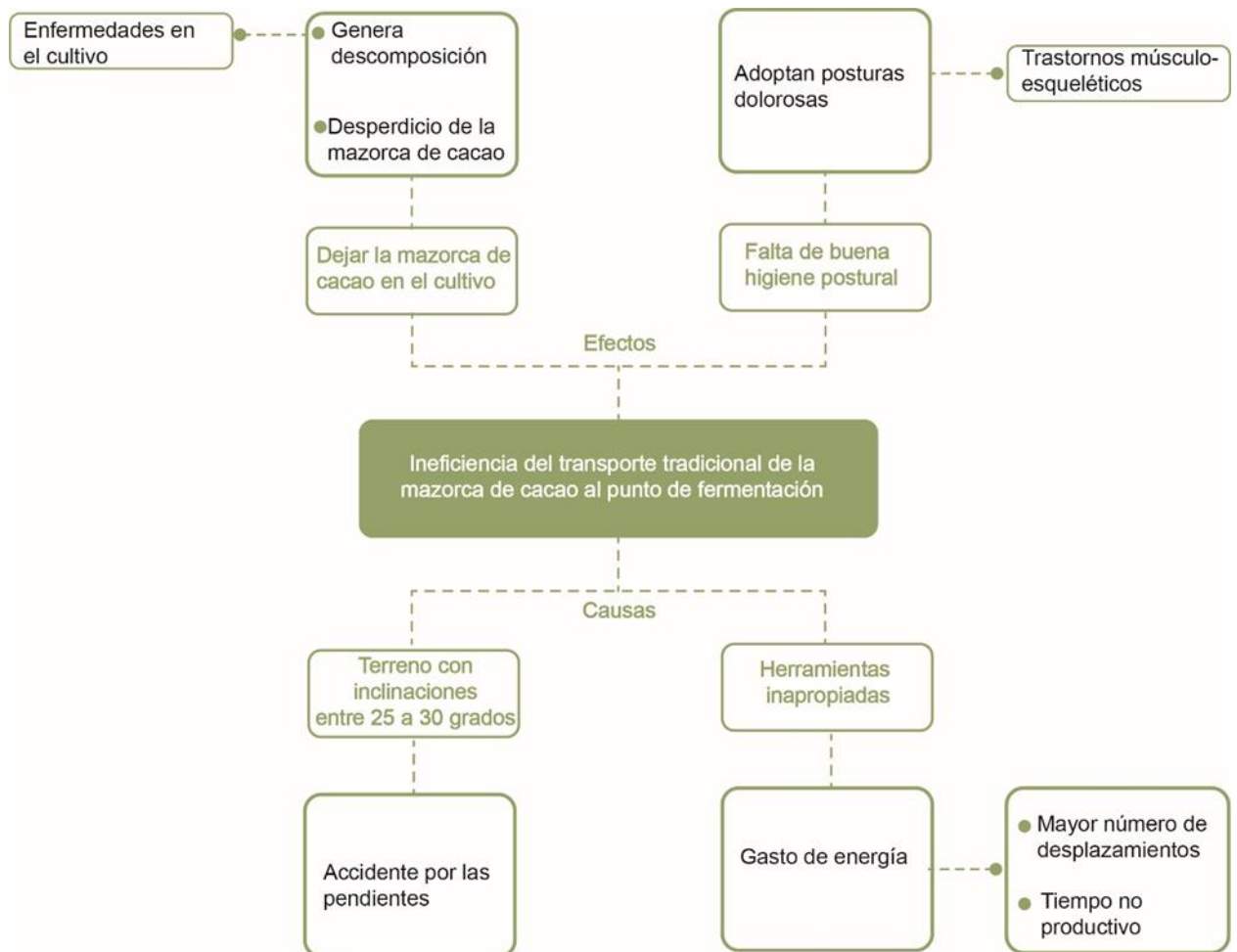
### 6.1.3 Análisis y síntesis de la información

**6.1.3.1 Árbol del problema.** Con base en las visitas realizadas y la información recolectada, se definió el árbol de problemas, planteado en la Figura 24, se especificaron en la parte superior los efectos ligados a falta de higiene postural y desperdicio de la mazorca de cacao. En la zona inferior, las causas resumidas en accidentes por la pendiente y herramientas inapropiadas. En la zona central se definió que el problema encontrado estaba ligado a la

ineficiencia del transporte tradicional de la mazorca de cacao, desde el punto de recolección a la zona de fermentación.

**Figura 24**

*Árbol del problema*

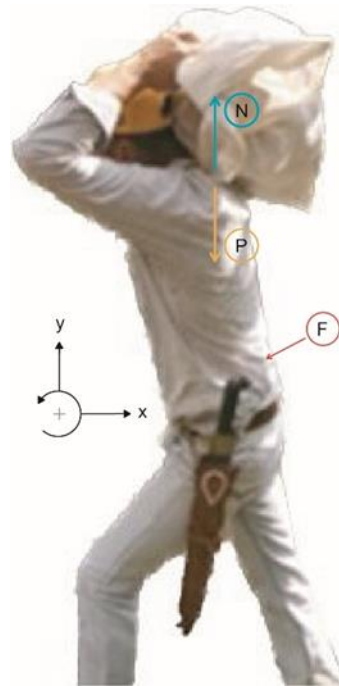


**6.1.3.2 Análisis mecánico de la manipulación del “saco”.** El análisis mecánico del “saco” que se usó para el transporte de la mazorca de cacao fue abordado con el objetivo de comprender en detalle las magnitudes de las fuerzas y cargas durante su manipulación. Para lograrlo, se empleó un diagrama de cuerpo libre que permitió identificar y ubicar las fuerzas de reacción actuantes sobre el cuerpo humano, como se observa en la figura 25. En este análisis, se consideraron distintas

cargas, tales como el peso del “saco” y el peso de la mazorca, dato obtenido en el análisis del apartado anterior.

### Figura 25

*DCL del contenedor tradicional*

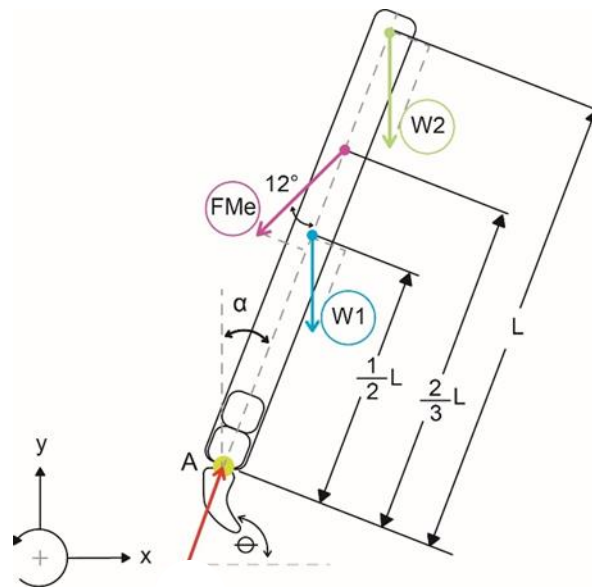


Bajo criterio de carga máxima admitida por el campesino, las magnitudes de las fuerzas de reacción sobre el obrero fueron: fuerza normal (N) 98.667 newtons, carga de la mazorca y el saco (P) que corresponde a 40,091 kg igual a 392.26 newtons.

Haciendo uso de la información de posturas promedio, flexión y fuerzas de reacción soportadas por el sistema músculo esquelético se realizó un análisis biomecánico bidimensional de la espalda para definir la resultante de fuerza del musculo erector (Figura 26). El modelo utilizado es el propuesto por Irving Herman quien propone la ubicación del músculo erector insertado en la décima vértebra torácica a un ángulo de inclinación de 12 grados respecto a la columna vertebral (Herman, 2006-2016).

**Figura 26**

*Modelo biomecánico de la espalda del campesino en postura flexión de espalda*



En la figura 26 se detalla la ubicación de las cargas sobre la columna vertebral del usuario. La carga FMe corresponde a la fuerza que ejerce el músculo erector en postura de flexión de espalda,  $W_1$  es el peso del tronco perteneciente al 0,4 del peso total,  $W_2$  es la sumatoria del peso de la cabeza y los miembros superiores siendo el 0.2 del peso total más la carga de la mazorca de cacao y “saco”. Los cálculos de:

$$\sum Ma = 0$$

$$\sum Ma = -\frac{L}{2} * (W1) \text{ sen } \alpha + \frac{2}{3} L * FMe \text{ sen } 12^\circ - L * (W2) \text{ sen } \alpha$$

Para el desarrollo del cálculo del momento respecto al punto A se inclinaron los ejes de referencia en función del ángulo  $\theta$  definiendo la dirección del producto cruz entre el vector FMe y el vector posición  $2/3L$  especificada en la figura 26 como positivo. La longitud L perteneciente al largo total de la espalda con un valor 49 cm. Este se determinó por medio del método LSC

(DiegoMas, 2015) teniendo como referencia la estatura promedio de 170 cm. Además, se empleó el método PSC desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia para un peso promedio de 71 kg, así estimar de manera precisa la magnitud de las cargas  $W_1$  (25.99 kg) y  $W_2$  (53.31 kg).

Los datos se ajustaron a las unidades adecuadas, las masas se multiplicaron por la fuerza de gravedad, las unidades de longitud cm a m y los grados a radianes (Apéndice B). Despejando  $FMe$  de la ecuación anterior y reemplazando las respectivas variables se obtuvo el siguiente resultado.

$$FMe = \frac{67.35 N * m}{0,06 m} = 1122.5 N$$

Teniendo en cuenta este valor, se encuentra que no se superó el límite propuesto por NIOSH de 3400 newtons como fuerza límite de compresión sobre el musculo erector para evitar lesiones. No obstante, el nivel de carga podría considerarse un factor de riesgo ya que el peso se distribuye incorrectamente en el cuerpo, generando la posibilidad de lesiones músculo esqueléticas si se continúa realizando la tarea de transporte de manera tradicional, con un saco al hombro (Gavilánez, 2017)

#### **6.1.4 Requerimientos de diseño**

**6.1.4.1 Atributos de diseño.** Considerando la observación, análisis y recolección de información que se expresó anteriormente por medio de visitas de campo, y con el objetivo de enfocar la propuesta de diseño a las necesidades específicas del usuario, se identificaron las características claves de la tarea. Estas se tradujeron en atributos de diseño.

Posteriormente, el día 11 de diciembre de 2022 se realizó un cuestionario a 9 trabajadores de la vereda San Nicolás alto, Lebrija para jerarquizar los atributos según su importancia. Los

resultados obtenidos a través de una escala cualitativa con valoración de 1 a 7 (donde 1 nada importante y 7 muy importante) de tipo ordinal, como se observa en la figura 27. Escala de valores de atributos (Apéndice C). Indican que el 43% mostro interés por el criterio de transporte, 31% estuvo de acuerdo con la importancia del atributo eficiencia, el 7% indico importancia en la carga. Finalmente, un 19% mostro interés por seguridad (figura 28).

Los trabajadores aclararon que, en este último atributo, influye la capacidad que tiene cada persona de transportar más o menos carga.

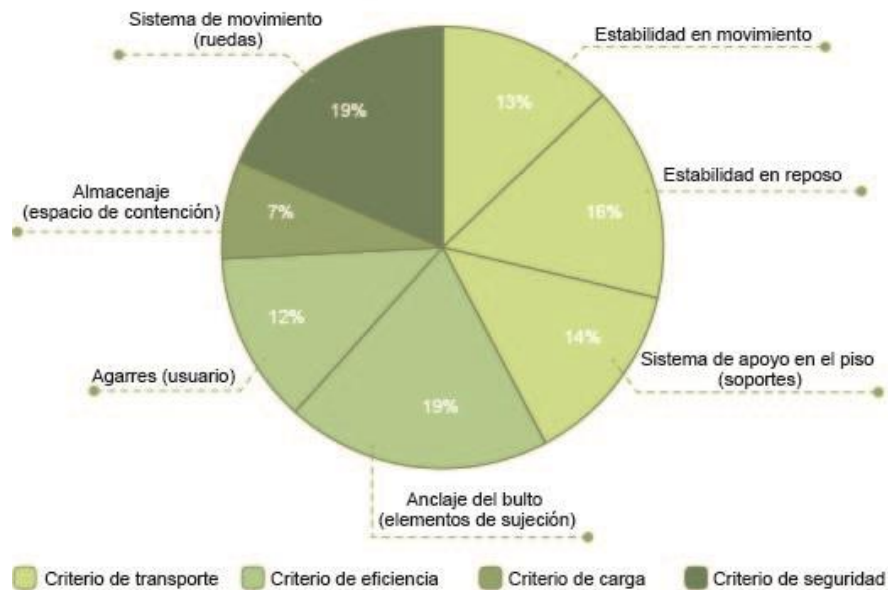
**Figura 27**

*Escala de valoración de atributos*



**Figura 28**

*Porcentaje escala de valoración*



**6.1.4.2 Requerimientos de diseño.** Los requerimientos de diseño fueron establecidos con base en los atributos del contenedor, estos fueron clasificados en requerimientos de uso, de función, técnicos productivos y estético-formales

**Tabla 2.**

*Requerimientos de diseño*

<b>Atributo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Determinantes</b>	<b>Tipo</b>
<b>Seguridad</b>	Soportes móviles de anclaje al suelo y soportes de apoyo fijo al suelo	-Cumple -No Cumple	Ru
	Conservar el equilibrio a partir del centro de gravedad.	Angulo de 0 a 9° en el eje de las llantas	Ru
	Dimensiones adaptables para la población de 20 a 60 años de edad	Alt máx del cuerpo hombre (percentil 25) Alt máx del cuerpo mujer (percentil 50) (maradei, espinel y peña, 2008)	Ru
<b>Eficiencia</b>	Con la herramienta igual o mejor la cantidad de mazorcas contenidas respecto el “saco”	Recorrido desde el cultivo hasta el punto de fermentación	Ru
	Intuición o percepción evidente de uso	Éxito de la tarea	Ru
<b>Carga</b>	Lenguaje del sistema de uso por medio de signos universales	Elementos estético-formales que faciliten la identificación de uso	Re
	Peso máximo del sistema	Máximo 20 kg	Ru
	Capacidad máxima de almacenaje	La carga máxima que un trabajador, de acuerdo con su aptitud física, sus conocimientos y experiencia podrá levantar será de 25 kilogramos de carga compacta; para las mujeres, será De 12,5 kilogramos de carga compacta.	Rf
		La constante de carga se considera de 23 kg (Diego-Mas, 2015)	
<b>Transporte</b>	El sistema facilita la movilidad del campesino durante la etapa de traslado del cultivo al punto de fermentación.	Test de percepción	Ru
	Superficies que permitan la adecuada limpieza		Ru
<b>Calidad</b>	Superficies que permitan la adecuada limpieza	Permeabilidad, porosidad	
	Resistente a la humedad	Impermeable, inerte, flexible	Ru
	Resistencia la carga	Máximo 40 kg	Rf

*Nota.* RU: Requerimientos de uso; RF: Requerimientos funcionales; FT: Requerimientos

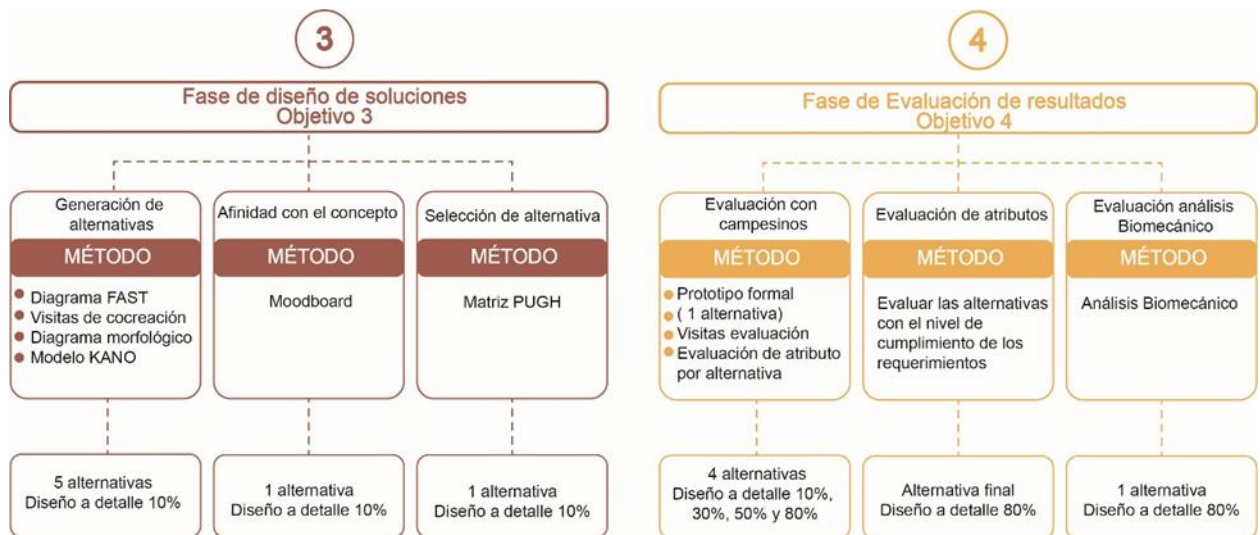
técnico-productivos; RE: Requerimientos Estético-formales

## 6.2 Fase 2. Diseño de soluciones

En el siguiente capítulo se documenta el cumplimiento del objetivo 3, para llevar a cabo esta fase se desarrolló el planteamiento de actividades donde se generaron alternativas de solución junto a los cacao-cultores, que posteriormente fueron evaluadas.

**Figura 29**

*Diagrama de actividades fase Diseño de soluciones y evaluación de resultados*



### 6.2.1 Diagrama FAST

Por medio de este método se analizaron y organizaron las funciones para la herramienta de transporte de la mazorca de cacao. Al descomponer la problemática en partes más manejables, esta metodología permitió una visualización objetiva del problema y facilitó la identificación de las relaciones entre las diferentes funciones y subfunciones del producto, relacionando las funciones con una posible solución (ver figura 30).



Nicolás alto, Lebrija, el 15 de agosto de 2022. En esta visita, 2 campesinos de la zona participaron en un espacio de co-creación y plantearon diversas soluciones para las funciones y subfunciones descritas en el diagrama FAST. La actividad dio inicio con una breve contextualización del proyecto por parte de los investigadores, además de exponer el objetivo general del trabajo. Las ideas de diseño expresadas verbalmente y a través de ejercicios prácticos haciendo uso de elementos que se tenían a la mano para entender las ideas de los campesinos, como se puede observar en la figura 31. Proceso de co-creación, fueron plasmadas en bocetos por los investigadores. Finalmente, se realizó una socialización de los resultados con los participantes de manera simultánea para concretar las ideas de solución.

Uno de los requerimientos en el que enfatizaron los usuarios fue la estabilidad del equipo. Para este caso, se analizó el estudio de (Chung-Ying Tsai, 2012). En él, se establece como parámetro la inclinación del sistema de movimiento (“rueda”) a 9° de su eje. En las sillas de ruedas para deportistas con discapacidad de miembros inferiores, el estudio concluyó que en el rango de 0°- 9° de inclinación hay menor resistencia a la rodadura, la velocidad de giro no se disminuye (a comparación de inclinaciones entre los 9°-15°) haciendo que sea más fácil el movimiento y aumentando la estabilidad de las ruedas sobre diferentes terrenos con carga en movimiento.

**Figura 31***Procesos de co-creación***Participantes**

Con esta actividad de co-creación se obtuvieron un total de 5 bocetos que representaron soluciones completas para el sistema de cosecha de la mazorca de cacao. Cabe resaltar, que, durante las conversaciones, los participantes verbalizaron la presencia de síntomas musculoesqueléticos en la zona lumbar, lo que subrayó la necesidad de encontrar soluciones adecuadas para hacer frente a esta problemática.

**6.2.2.1 Diagrama morfológico.** A partir de los resultados de la visita con los campesinos y el diagrama FAST se analizaron las diversas soluciones en un diagrama morfológico para la generación de propuestas objetuales. En la figura 32 se resumen mediante gráficos, los sistemas planteados por los campesinos e integrantes del proyecto que dan solución a cada subfunción definida para la tarea de transporte de la mazorca de cacao.

Figura 32

Diagrama morfológico



Mediante un sistema de asociación entrecruzado (sistema combinatorio) se establecieron 5 productos morfológicos, donde surgió la idea de plantear un tipo de rueda no convencional a partir de las patas independientes, propuestas en la sección de sistema de movimiento de la figura 32. Como resultado del diagrama y de las combinaciones generadas, se escogió la que más se adaptaba a las necesidades de los cacao-cultores. Para esto, se analizó las preferencias de los campesinos con base en el Modelo KANO.

**6.2.2.2 Modelo KANO.** Por medio de la aplicación de una encuesta a 9 posibles usuarios, se dio una valoración de 1 a 5 a los atributos antes establecidos (ver figura 33), se identificó cuáles eran los de mayor necesidad para los campesinos (Apéndice D). Relacionando los atributos del producto y la satisfacción del usuario. Los resultados obtenidos se plasmaron en la tabla 3.

### Figura 33

*Escala de valoración*

Me gusta	1
Es algo básico	2
Me da igual	3
No me gusta, pero lo tolero	4
No me gusta y no lo tolero	5

**Tabla 3.**

*Resultados de los atributos con base en el modelo KANO*

R	Requerimiento	Indispensable (E)	Requerido (A)	Atractivo (I)	Indiferente (N)	Cuestionable (C)	Inconsistente (R)	TOTAL
R1	Transportar 40 kg	11%	0%	67%	11%	11%	0%	100%
R2	Peso de la herramienta	0%	11%	89%	0%	0%	0%	100%
R3	Resistencia a la carga (40 kg)	0%	0%	89%	11%	0%	0%	100%
R5	Sistema de movimiento (se enreda)	11%	0%	78%	0%	11%	0%	100%
R6	Deslizamiento en reposo	0%	22,22%	44,44%	0%	33,33%	0%	100%
R7	Estabilidad de la herramienta	11%	0%	89%	0%	0%	0%	100%

**6.2.3 Mood board**

En la figura 34 se muestra una representación visual de la forma y la paleta de colores, tierra y morado presentes en la mazorca de cacao, inspiración formal para la construcción de las alternativas y los prototipos funcionales.

**Figura 34**

*Mood board*



#### **6.2.4 Generación de concepto**

Con el objetivo de categorizar los resultados del diagrama morfológico se obtuvieron 5 posibles soluciones teniendo como directriz la interacción del usuario con la herramienta durante las etapas de recolección y transporte. Las soluciones se clasificaron en diseños contemplando el modelo de uso de los productos que, de manera natural, los cacao-cultores asocian como un transporte de carga: carrito de mercado, carretilla y carretilla tipo zorra.

**6.2.4.1 Alternativa 1.** La primera propuesta, consiste en una estructura rectangular con espaldar y base, que permiten soportar el “saco”. En la parte superior presenta un asa que va continua con la estructura, la cual permite el agarre del usuario, esta alternativa tiene ruedas discontinuas en forma de zapatos.

**Figura 35***Alternativa de diseño 1*

En el diagrama de la figura 35 se observa el detalle de la alternativa 1, el modo de uso, materiales y la manera de funcionamiento. La desventaja que presenta el sistema es no tener apoyos para que se sostenga cuando está en reposo.

**6.2.4.2 Alternativa 2.** La segunda propuesta, presenta una estructura central rectangular con base y un gancho que permite la sujeción de "saco". En la parte superior presenta un asa

independiente que permite el agarre del usuario, esta alternativa tiene ejes con inclinación y ruedas discontinuas en forma de zapatos.

El funcionamiento del dispositivo se describe en el diagrama a continuación (ver figura 36). Además, la ventaja que presenta el dispositivo debido al material, es tener una estructura liviana y su desventaja está en la proporción de la estructura central respecto a la dimensión del “saco”.

**Figura 36**

*Alternativa de diseño 2*

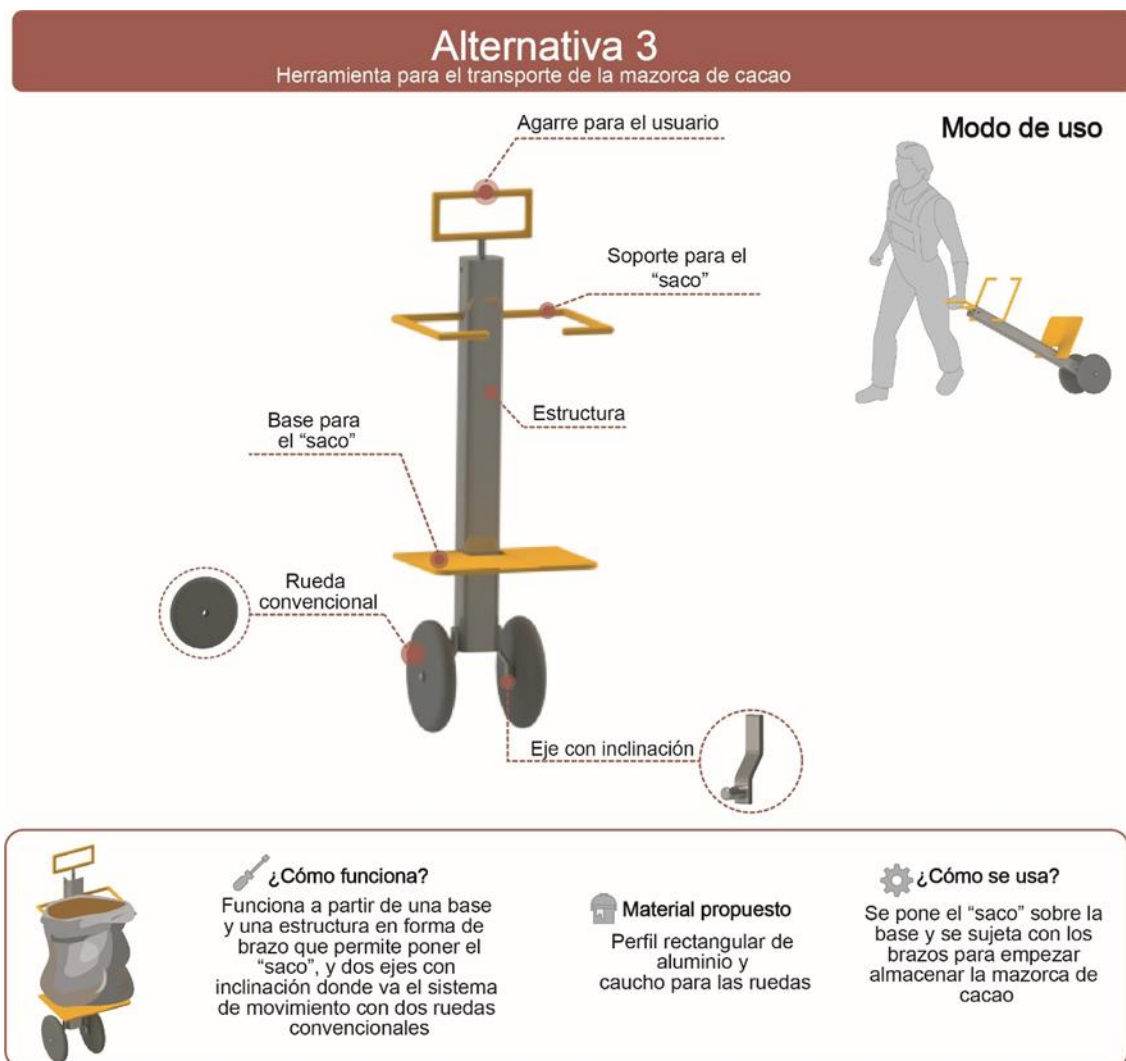


**6.2.4.3 Alternativa 3.** La propuesta número tres, consiste en una base y una estructura central. De la cual salen dos soportes en forma de brazo, no presenta ningún tipo de gancho o elemento en punta que permite la sujeción del “saco”.

Tiene un asa independiente para el agarre del usuario y presenta dos ejes con inclinación donde van las ruedas de tipo convencional (ver figura 37). Su desventaja, no presenta un soporte para impedir deslizamientos cuando la herramienta este en reposo.

**Figura 37**

*Alternativa de diseño 3*

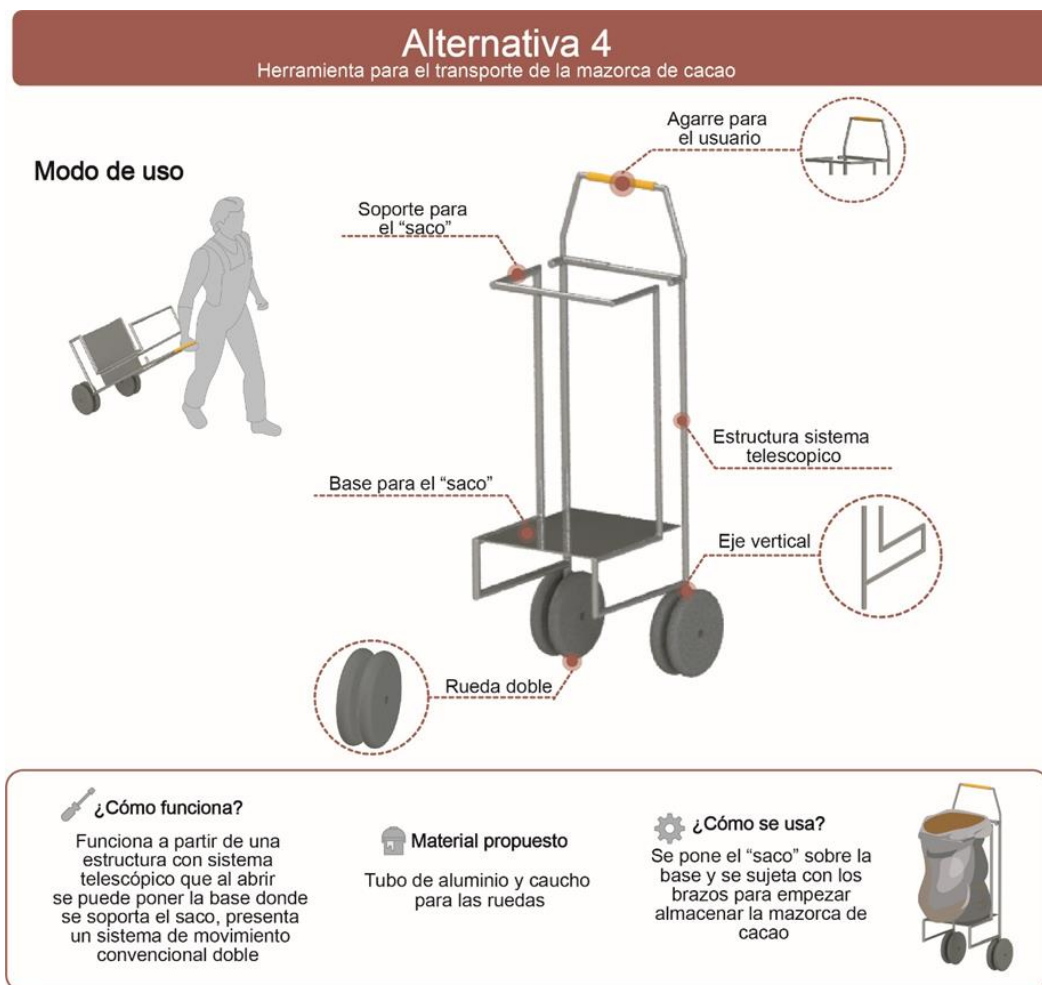


**6.2.4.4 Alternativa 4.** La cuarta propuesta, consiste en una estructura completa con sistema telescópico que brinda la facilidad de reducir su volumen al momento de requerir guardarla en espacios reducidos. Presenta un sistema de acople que une el asa de agarre del usuario con la estructura, como se puede observar en la figura 38. Dos ejes independientes donde van las ruedas convencionales dobles.

La desventaja, no tiene una estructura de sujeción para el saco ni tampoco presenta apoyos para que el sistema no se deslice cuando este en reposo.

**Figura 38**

*Alternativa de diseño 4*



**6.2.4.5 Alternativa 5.** La quinta propuesta, presenta una estructura en forma rectangular con un espaldar por secciones, un sistema plegable que facilita su almacenamiento en espacios reducidos y dos ejes independientes con inclinación en los que van las ruedas discontinuas con elementos en forma de zapatos (ver figura 39).

La posible desventaja que presenta es tener una estructura cerrada lo que puede dificultar poner el saco con carga.

### Figura 39

*Alternativa de diseño 5*



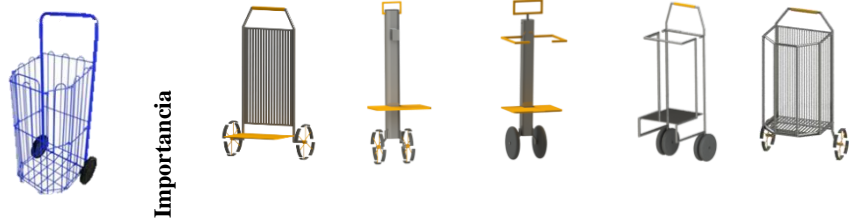
**6.2.5 Matriz Pugh**

Por medio de esta matriz se seleccionó la mejor alternativa de diseño utilizando de manera conjunta todos los posibles criterios (ubicar las mazorcas, transportar las mazorcas y la descarga). Para el desarrollo de la matriz se consideraron los requerimientos con un valor de importancia de 1 a 5 (ver figura 40), estos se multiplicaron con los valores de cumplimiento superior (1), igual (0) o inferior (-1) respecto si la alternativa cumplía más, igual o menos respecto del producto existente (Apéndice E). Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4.**

*Matriz Pugh*

Solución usuario (producto existente)	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
---------------------------------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------



Criterios	1. Ubicar las mazorcas	Anclaje del bulto (elementos de sujeción)	1	1	0	0	-1	0
		Estabilidad en el terreno (reposo)	3	0	0	-1	0	0
		Sistema de apoyo	3	-1	-1	-1	-1	-1
	2. Transportar las mazorcas	Agarres	4	0	-1	-1	0	0
		Estabilidad del equipo	4	0	1	-1	0	1
		Sistema de movimiento	2	0	1	0	0	1

3.Descarga	Anclaje del bulto (elementos de sujeción)	1	1	0	0	-1	0
	Almacenaje (Contenga la carga de manera adecuada)	5	1	-1	-1	1	0
	Estabilidad del equipo (Reposo)	3	-1	-1	-1	0	0
	Anclaje del bulto (elementos de sujeción)	1	1	0	0	-1	-1
	Almacenaje (Permita sacar la carga con facilidad)	5	1	1	1	1	0
	Sistema de apoyo en el piso	3	-1	-1	-1	-1	-1

**Figura 40***Valoración de los atributos*

Atributos del modelo Kano	Valoración para aplicar la matriz Pugh	Valor de Importancia
1	Muy importante	1
2	Importante	2
3-4	Importancia media	3
5-6	Poco importante	4
7	No es importante	5

Se obtuvo el valor ponderado con un resultado de 4 para la alternativa número 1, como se observa en la figura 41. A partir de esta alternativa se desarrolló un prototipo funcional que permitió determinar las mejoras que se debían hacer para obtener un producto que cumpliera con las necesidades de los cacao-cultores.

**Tabla 5.***Suma ponderada de la matriz Pugh*

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	
<b>Criterios</b>	1.Ubicar las mazorcas	Anclaje del bulto (elementos de sujeción)	1	0	0	-1	0
		Estabilidad en el terreno (reposo)	0	0	-3	0	0
		Sistema de apoyo en el piso	-3	-3	-3	-3	-3
	2.Transportar las mazorcas	Agarres	0	-4	-4	0	0
		Estabilidad del equipo	0	4	-4	0	4
		Sistema de movimiento	0	2	0	0	2
		Anclaje del bulto (elementos de sujeción)	1	0	0	-1	0
		Almacenaje (Contenga la carga de manera adecuada)	5	-5	-5	5	0
		Estabilidad del equipo (Reposo)	-3	-3	-3	0	0
	3.Descarga	Anclaje del bulto (elementos de sujeción)	1	0	0	-1	-1
		Almacenaje (Permita sacar la carga con facilidad)	5	5	5	5	0
		Sistema de apoyo en el piso	-3	-3	-3	-3	-3
		<b>Suma ponderada</b>	<b>4</b>	<b>-7</b>	<b>-20</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>

**Figura 41**

*Calificación en orden ascendente basados en el cumplimiento de los criterios*



### 6.3 Fase 3. Evaluación de alternativas

En el proceso de selección de la alternativa final para la solución del diseño, se llevaron a cabo 4 evaluaciones fundamentales. En primer lugar, se realizaron dos evaluaciones con los campesinos a través de una salida de campo los días, 10 de septiembre y 11 de diciembre de 2022, donde se obtuvieron ideas y soluciones pertinentes para la resolución del problema de investigación. Posteriormente, se realizó el día 22 de abril del 2023 una prueba en terreno simulado y una salida en el terreno del cultivo de cacao el día 6 de julio de 2023, con la participación de la profesora Jenny Rodríguez.

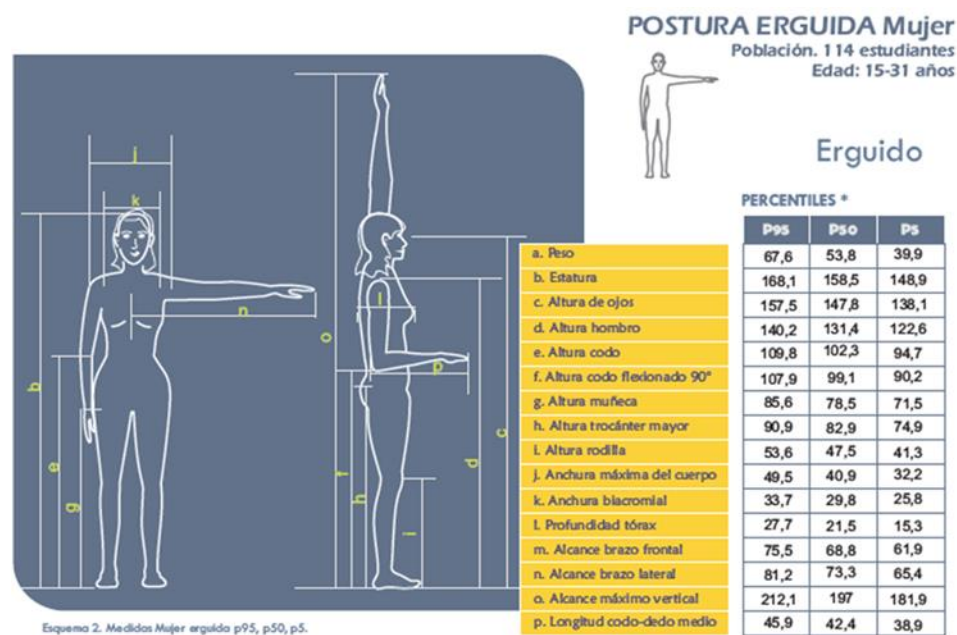
Por último, se llevó a cabo una evaluación de requerimientos por cumplimiento de función, que permitió la comparación de las soluciones propuestas en términos de su capacidad para cumplir con los objetivos y requisitos de la tarea del transporte de mazorca de cacao. Con estas evaluaciones se logró seleccionar una alternativa de diseño óptima para la solución del problema planteado, como se muestra a continuación.

### 6.3.1 Propuesta de solución #1

Por medio de la elaboración de un modelo funcional de la alternativa seleccionada se realizó una prueba en terreno con los usuarios objetivos. El propósito era identificar su satisfacción en términos de funcionamiento, configuración formal y estabilidad al momento de trasladarse sobre un terreno inclinado.

#### Figura 42

Datos antropométricos, postura erguida mujer edad 15-31 años

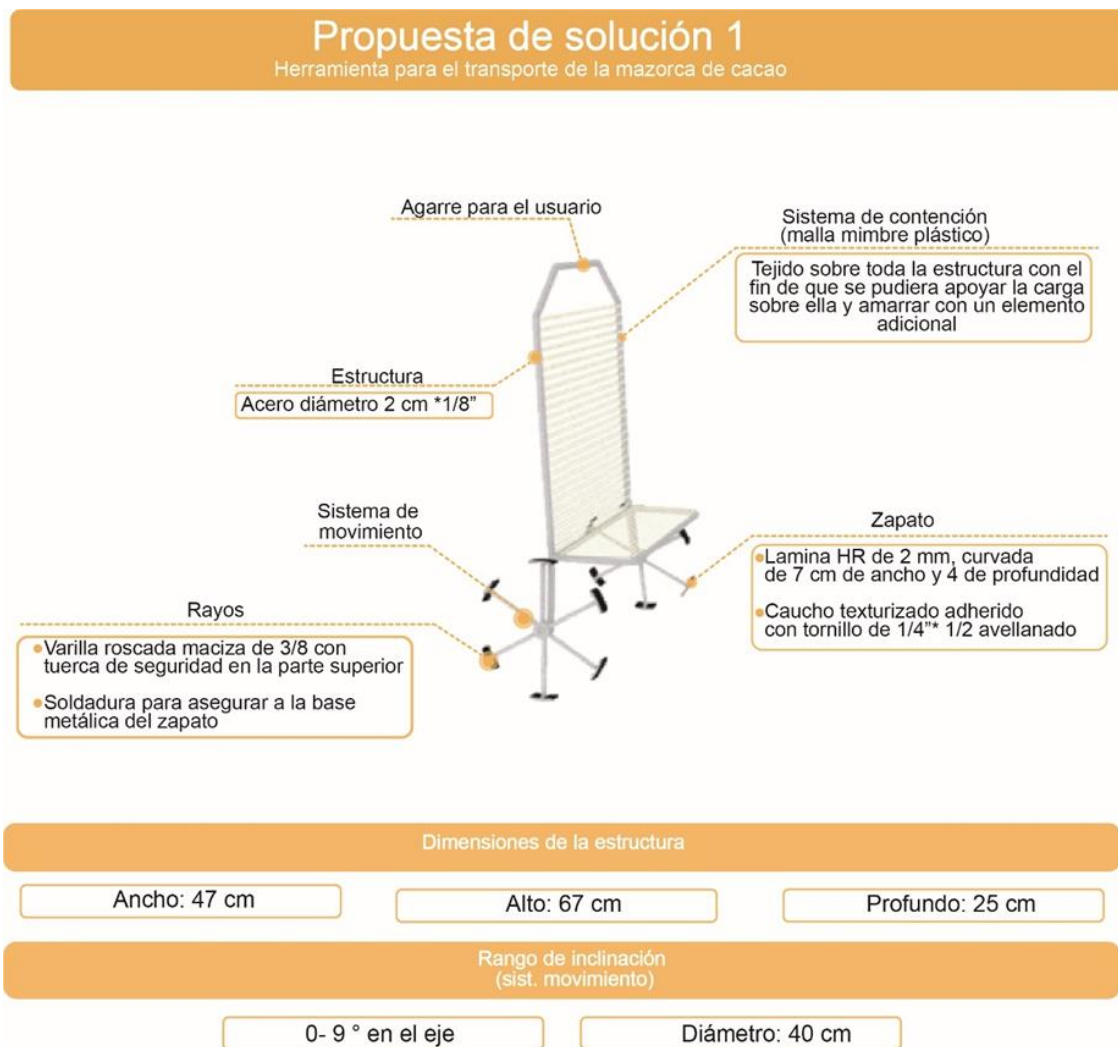


Nota. Tomado de (Maradei, 2008, p. 45)

**6.3.1.1 Detalle de la propuesta de solución #1.** Para la primera propuesta de solución se definieron ciertos parámetros teniendo en cuenta las dimensiones de la carga contenida en un “saco” o “costal” de dimensiones: 47 cm de ancho, 67 cm de alto y 25 cm de profundidad, como se muestra en la figura 43. Propuesta de solución 1. De igual manera se estableció una altura de 40 cm para el sistema de movimiento dado que es la altura superior a la del material orgánico por donde debe pasar la unidad móvil.

Dentro de las dimensiones de la altura del sistema se estableció como parámetro la estatura de una persona de 1.67 m, siendo este el percentil 25 de un hombre entre los 15-31 años. Este valor se seleccionó debido a que el equipo también debe ser usado por las mujeres que pertenezcan al núcleo familiar. En este caso en específico, el percentil 50 para mujeres entre los 15-31 años es de 1.58 m, por tanto, la longitud de todo el sistema sería mayor ayudándole a que la fuerza que deba realizar sea menos, debido a que las mujeres, tienen en promedio un 40% menos de fuerza que los hombres. Además, la diferencia de fuerza es mayor en los músculos de la parte superior del cuerpo que en los músculos de la parte inferior (Nuzzo, 2022).

En la población masculina, la diferencia entre la estatura del percentil 25 (1.67 m) y el percentil 50 (1.72 m) es de 5 cm que se consideró que no tendría ningún aumento significativo en los comportamientos, al momento de utilizar el equipo. Todos estos valores se tomaron del libro Datos antropométricos para el diseño (ver figura 42).

**Figura 43***Propuesta de solución 1. Prototipo*

**6.3.1.2 Análisis en campo con el modelo constructivo #1.** Una vez detallada la propuesta y definida la materialidad se construyó el prototipo obteniendo un equipo con un peso de 5.2 kg considerándose liviano a partir de la percepción de los evaluadores: profesional encargada del proyecto y participantes de la prueba.

Las pruebas se realizaron en el municipio de Lebrija, Santander dentro de un cultivo real de cacao. Allí se seleccionó un terreno con inclinación de 30° y una carga de 40 kg con cacotas recién cortadas del mismo cultivo, como se puede evidenciar en la figura 44.

#### Figura 44

*Propuesta de solución. Prototipo en campo*

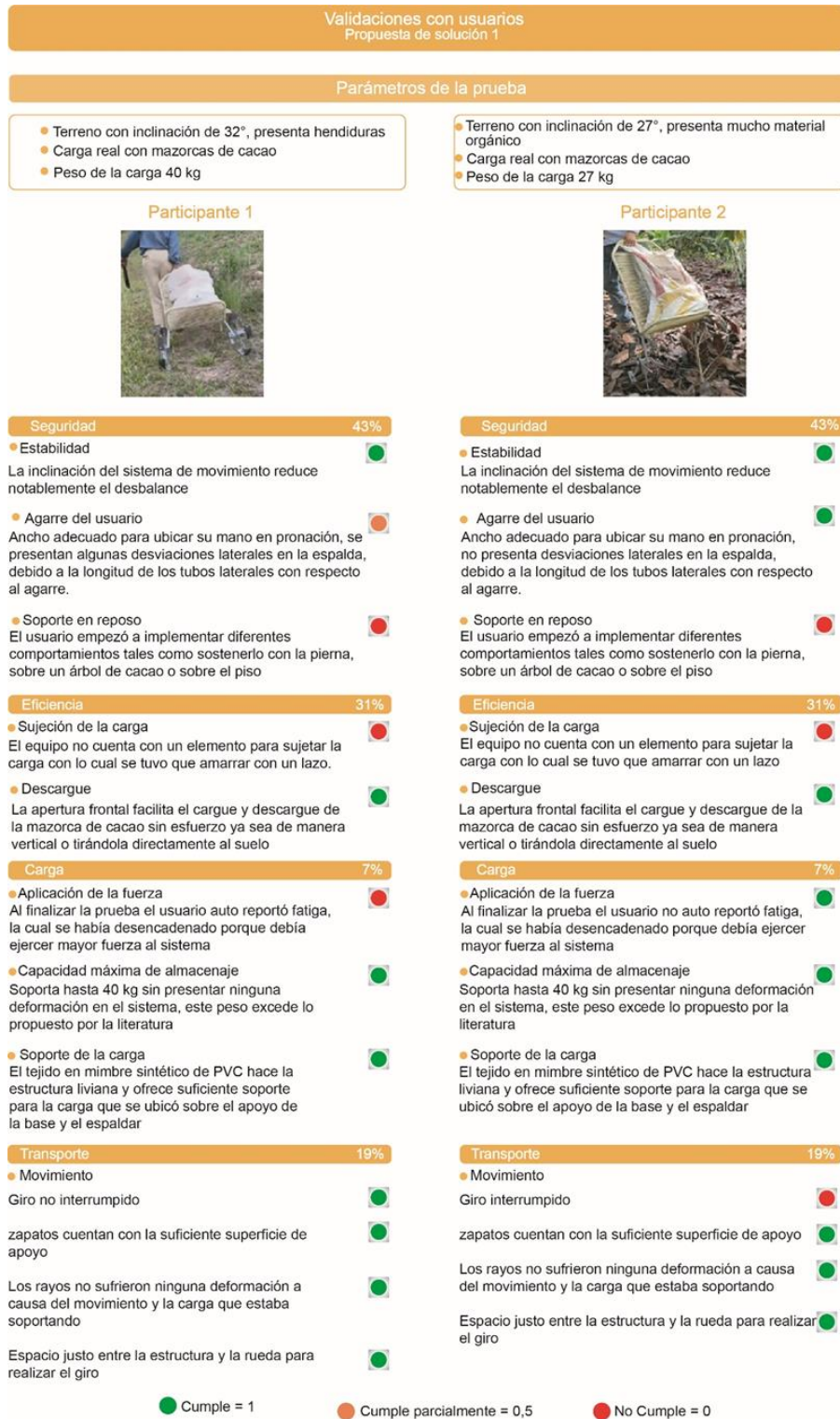


El proceso de verificaciones y validaciones se realizó con 2 participantes (ver figura 46), vivientes de dos fincas, que entre sus tareas diarias deben cortar, recoger y transportar mazorcas de cacao. Estas dos personas fueron hombres de 30-60 años sin dolor general en el cuerpo. En el procedimiento se tomaron videos de cada uno de ellos por aproximadamente 10 minutos, en donde realizaron las 3 tareas anteriormente mencionadas.

Durante la evaluación con los dos participantes, se utilizó un sistema de asignación de grados de cumplimiento (0- 0,5- 1) a cada criterio de seguridad, eficiencia, carga y transporte, con el fin de medir su nivel de satisfacción. Este valor de cumplimiento fue multiplicado por el peso en porcentaje asignado previamente a cada atributo seguridad, eficiencia, carga y transporte. Para obtener el porcentaje de cumplimiento de cada criterio y determinar que los requerimientos específicos del proyecto se estaban cumpliendo en esta primera etapa de evaluación de resultados (ver figura 45)

Figura 45

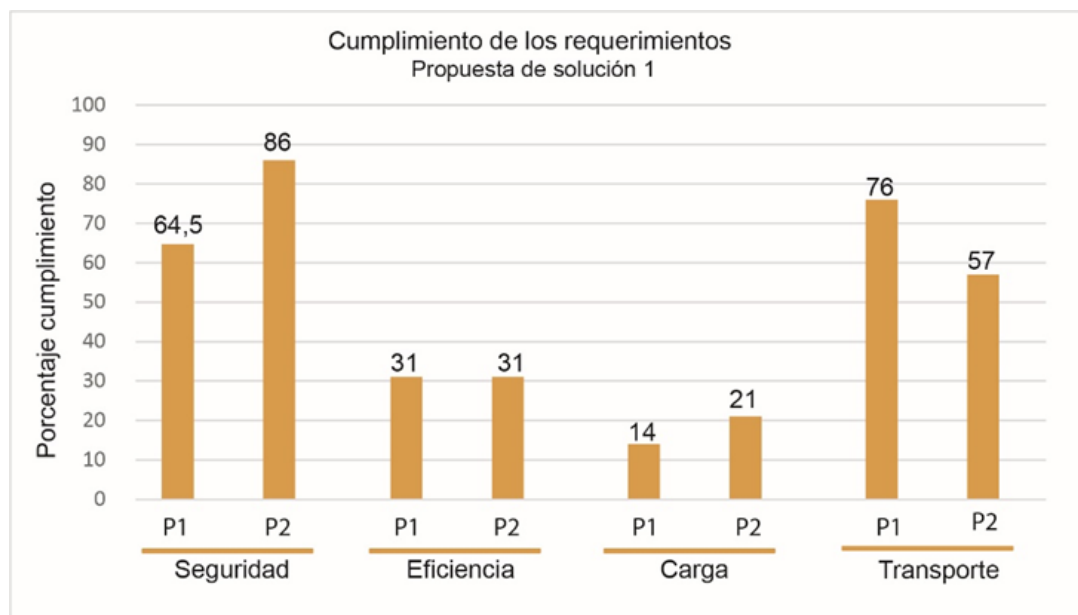
Evaluaciones técnicas y validaciones con usuario



Se concluyó que la alternativa 1 evaluada bajo los parámetros de prueba (ver figura 45), cumplió en terrenos con inclinación menor a los 30° y con carga por debajo de los 40 kg, alcanzando un porcentaje del 19.5%. Este porcentaje se halló sacando un valor promedio de los dos parámetros de prueba, participante 1 y 2 (figura 46). Es importante destacar que se requirieron adaptaciones en el diseño para garantizar la eficiencia en el transporte de la mazorca de cacao desde el cultivo hasta la zona de fermentación.

### Figura 46

*Porcentaje de cumplimiento de requerimientos. Propuesta de solución 1*



El sistema presento varios elementos que se debían mejorar.

Mejora 1. Movimiento: El componente que permite el movimiento del sistema (ruedas) no funcionó correctamente en terrenos con mayor cantidad de material orgánico. Las hojas secas, ramas y troncos de árboles que se encuentran con frecuencia en los caminos, detuvieron la marcha.

Esto se presentó, debido a que los “zapatos” de las ruedas actuaron como gancho. De esta forma, el material orgánico quedaba adherido para luego terminar almacenado en los rayos. Bajo estas circunstancias la estructura se trabó y el equipo se frenó (ver figura 47).

### Figura 47

*Validación y verificación rueda (tipología 1)- Enganche de material orgánico*



Mejora 2. Zona de agarre del usuario: El ancho era el adecuado para que la persona pudiera ubicar su mano en pronación sobre el elemento. Sin embargo, se propuso mejorar la longitud del agarre con respecto a los tubos laterales (verticales) de la estructura. Lo anterior, porque se observó desviaciones laterales de la espalda por parte del usuario para poderlo maniobrar (ver figura 48).

### Figura 48

*Validación y verificación Prototipo 1*



Mejora 3. Aplicación de fuerza: La persona logró transportar la carga sobre la superficie inclinada, pero al finalizar la prueba auto reportó fatiga. Lo que sugirió que el usuario ejerció mayor fuerza. Por tal motivo, se planteó reubicar el sistema de movimiento alineado al centro de masa del equipo para aumentar la ventaja mecánica y con esto reducir la fatiga y la cantidad de fuerza que debe aplicar la persona.

Mejora 4. Soporte en reposo: Al momento de realizar la verificación y validación no se consideró la posibilidad de otorgarle la función auto soportante al elemento. En consecuencia, al momento de probarlo, la persona implemento comportamientos para sostenerlo y evitar que se cayera. En algunas ocasiones lo realizo con las piernas, otras sobre un árbol de cacao o sobre el piso.

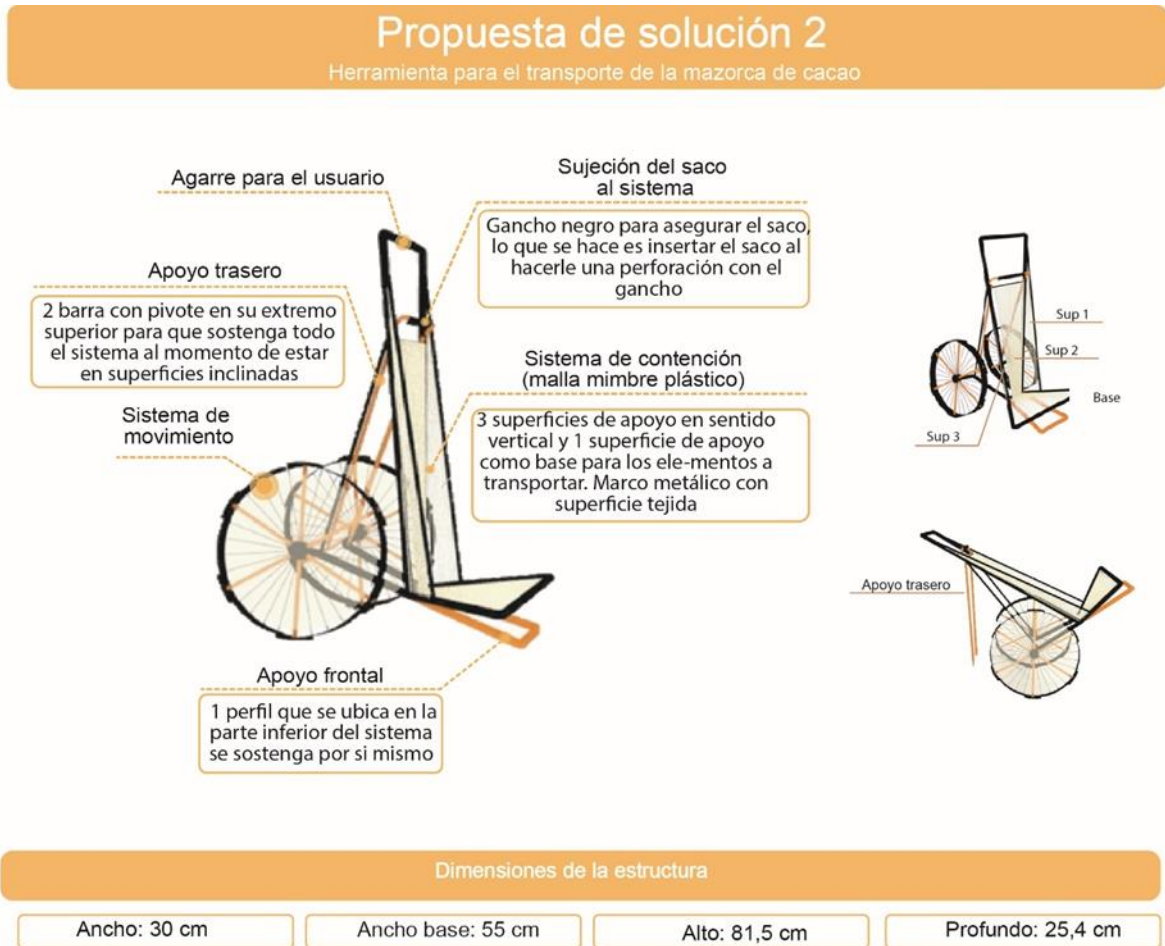
Mejora 5. Sujeción de la carga: El equipo no contaba con un elemento para sujetar la carga con lo cual se tuvo que amarrar con un lazo.

### ***6.3.2 Propuesta de solución #2***

En la figura 49, se muestra la propuesta de mejora detallada. Se especifica el equipo con el cual se continuó el proceso de diseño, verificación y validación para el transporte de mazorca en superficies inclinadas.

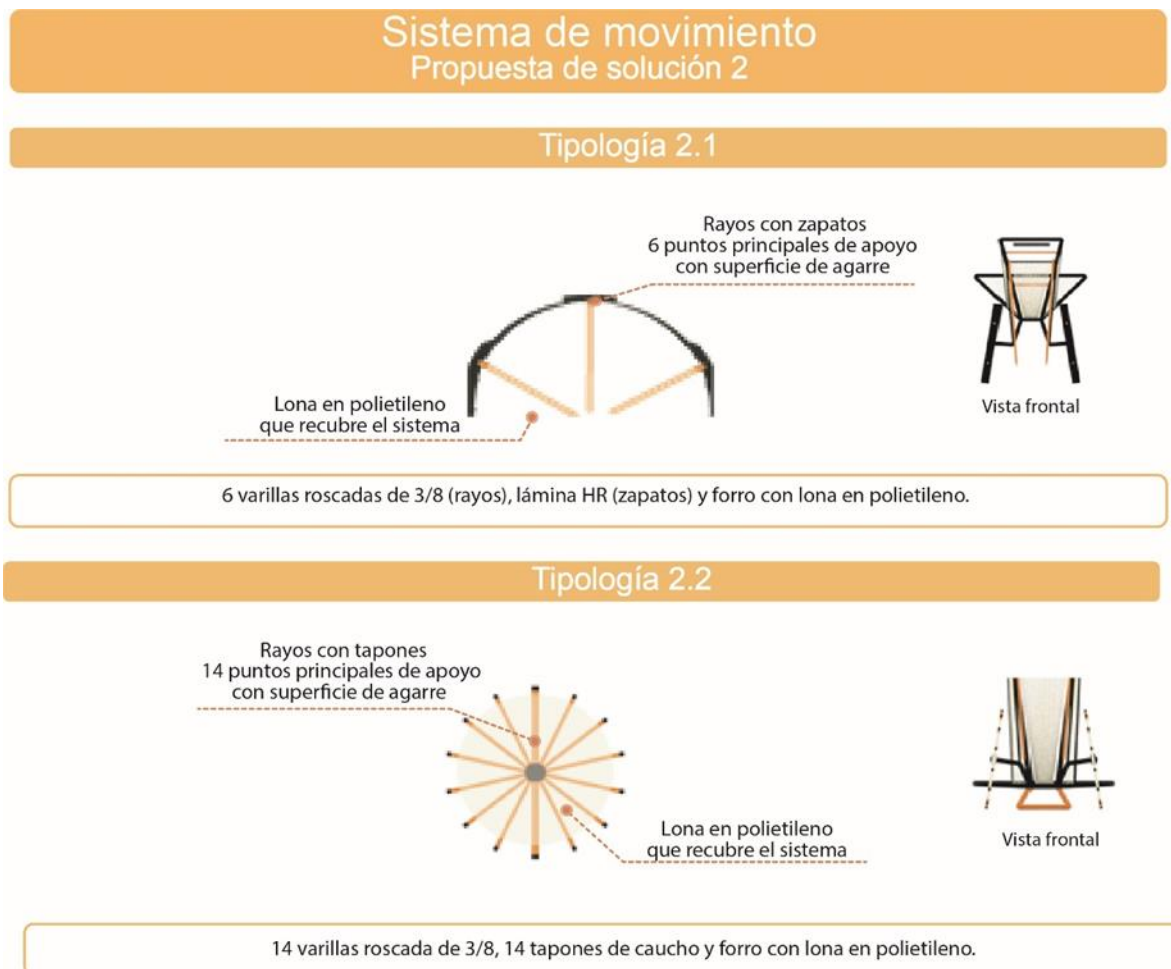
**Figura 49**

*Prototipo. Propuesta de solución 2*



**Figura 50**

*Propuesta de solución 2. Sistema de movimiento (tipología 2.1 y 2.2)*



En la figura 50 se muestra el sistema de movimiento con tipología 2.1 y 2.2, planteado para la propuesta de solución 2.

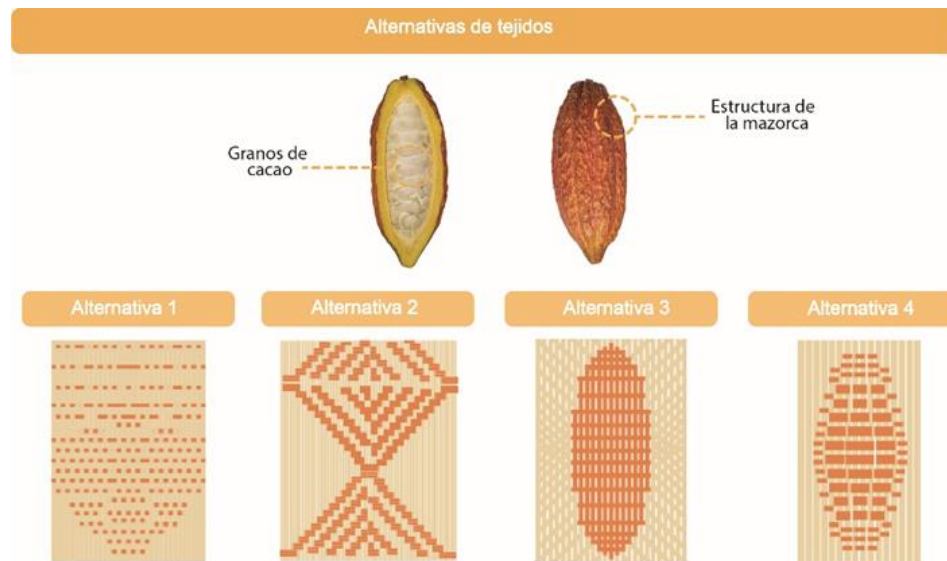
**6.3.2.1 Especificaciones de la propuesta de solución #2.** De esta manera se puede concluir que en los aspectos que se deben plantear o mejorar son los siguientes:

Teniendo en cuenta la representación visual, formal y la paleta de colores obtenida a partir del mood board (ver figura 34), se desarrollaron varias propuestas de tejidos, planteadas en

material mimbre de PVC, con el fin que la herramienta no aumentara mucho su peso. El tejido se implementó como soporte para el “saco” al momento de ser llenada con mazorcas de cacao.

### Figura 51

#### *Alternativas de tejidos*

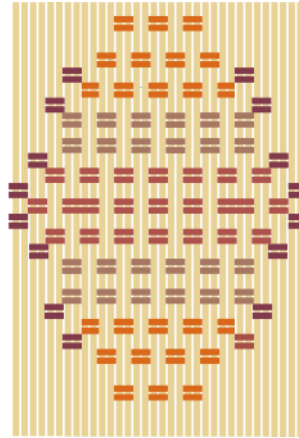


En la figura 51, se muestra los patrones obtenidos de la forma de los granos y la cacota de la mazorca cacao, a partir de los conceptos básicos de diseño, como: forma, gradación de tamaño, simetría y repetición.

Para la selección de la propuesta se contó con la participación de la profesora Fernanda Maradei, docente especialista en el área de ergonomía. Esta revisión fue llevada a cabo el día 3 de noviembre 2022. El objetivo inicial de esta reunión fue exponer las cuatro alternativas y seleccionar, mediante sus conocimientos de diseño, aspectos relacionados con la coherencia formal de la mazorca de cacao. De esta reunión se seleccionó la alternativa 4, a la cual se le realizaron ciertas modificaciones para su construcción. A continuación, en la figura 52, se presentan las modificaciones realizadas.

**Figura 52**

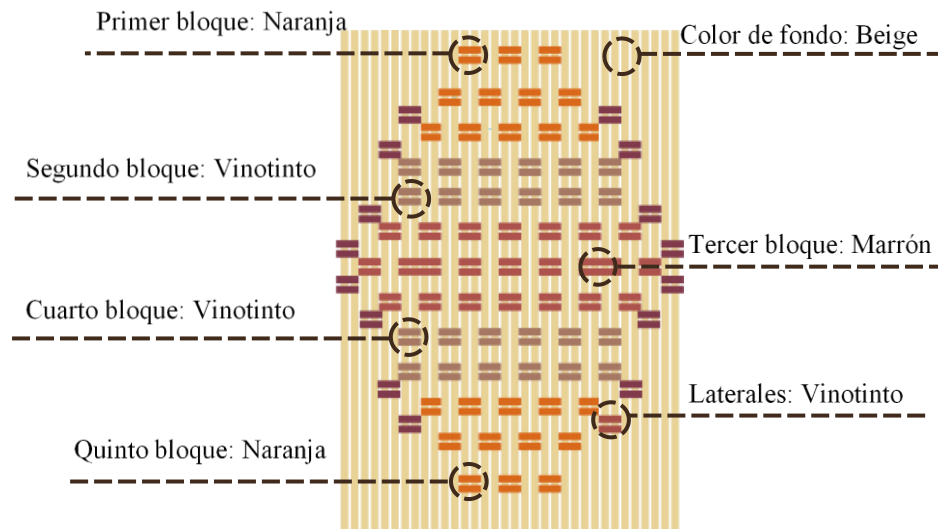
*Alternativas de tejidos. Modificaciones para la construcción del tejido*



Posteriormente se procedió a la revisión de los colores que tiene la empresa manoa mobiliario, para seleccionar los más cercanos a la paleta de color propuesta. Finalmente realizaron el tejido en la herramienta (figura 53).

**Figura 53**

*Alternativa de tejidos. Selección de colores en material real*



De acuerdo con la evolución de la alternativa se construyó el prototipo funcional a escala 1:1, con el cual se planteó una segunda prueba de verificación con tres usuarios objetivos, para identificar la satisfacción de dicho prototipo en términos de los atributos funcionales y formales.

#### **Figura 54**

*Construcción prototipo funcional escala 1:1. Propuesta de solución 2*



**6.3.2.2 Análisis en campo con el modelo constructivo #2.** Al realizar la primera prueba se detectaron problemas importantes en el sistema de apoyo que debían ser mejorados de manera inmediata. Por lo que, se decidió no continuar con las pruebas hasta no realizar las modificaciones pertinentes.

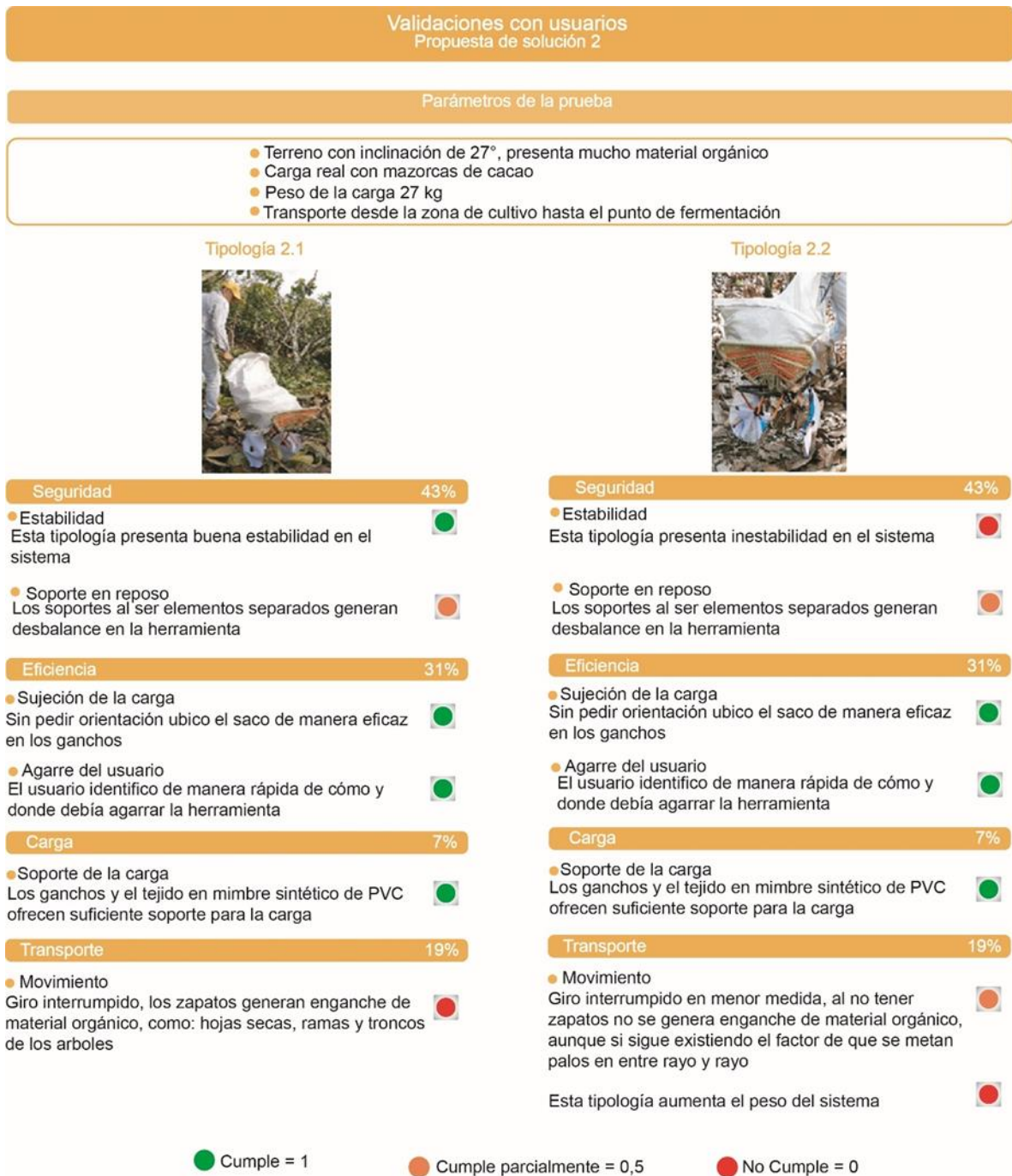
En ese orden de ideas, el proceso de verificación se realizó con 1 participante, viviente de una finca, al que se le pidió llevar a cabo las tareas de corte, recolección y transporte de la mazorca de cacao usando la herramienta con el sistema de movimiento (Tipología 2.1 y 2.2). En el

procedimiento se realizaron videos y fotos al participante, donde llevo a cabo las tareas antes mencionadas con los dos sistemas de movimiento.

Para obtener los resultados de la evaluación de la alternativa 2, se realizó el mismo proceso antes mencionado, la asignación de grados de cumplimiento (0- 0,5- 1) a cada criterio para medir su nivel de desempeño con los requerimientos de diseño. Este valor fue multiplicado por el peso asignado previamente a cada atributo, como se observa en la figura 55, con el fin de obtener el porcentaje de cumplimiento de los requerimientos específicos del proyecto. Permitted mirar las diferencias respecto a las tipologías 2.1 y 2.2 del sistema de movimiento.

**Figura 55**

*Evaluaciones técnicas y validaciones con usuario. Propuesta de solución 2*

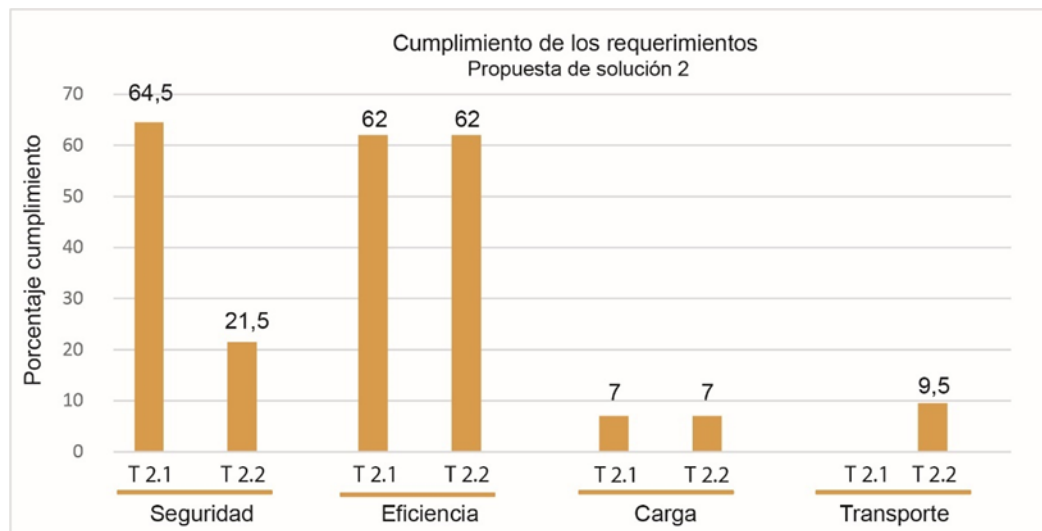


Al analizar los resultados obtenidos mediante la evaluación de las alternativas de sistema de movimiento (ver figura 57 y 58), se concluye que la tipología 2.1 tiene mayor cumplimiento en

los requerimientos de seguridad, eficiencia y carga, como se observa la figura 56. Alcanzando un porcentaje de cumplimiento del 13.55%.

### Figura 56

*Porcentaje de cumplimiento de requerimientos. Propuesta de solución 2*



A partir de esta verificación y teniendo en cuenta los hallazgos encontrados en los sistemas de movimiento, se plantearon las siguientes mejoras:

Mejora 1: Modificar los elementos que generaron enganche y almacenamiento de material orgánico (figura 57).

### Figura 57

*Validación y verificación rueda (tipología 2.1). Enganche de material orgánico*



Mejora 2: Eliminar las áreas abiertas que permitieron el paso de material orgánico (figura 58).

### **Figura 58**

*Validación y verificación rueda (tipología 2.2). Enganche de material orgánico*



Mejora 3: Implementar elementos de construcción livianos, ya que con la tipología 2.2 (Figura 58) se hizo más pesada la herramienta.

#### **6.3.3 Propuesta de solución #3**

En la figura 59. Propuesta de solución 3 se propuso mejorar los aspectos funcionales y de uso del sistema de movimiento (ruedas), con el fin de evitar que el material orgánico se quedara atascado en los rayos de la estructura. A continuación, se detalla una propuesta diferente a nivel de concepto, respecto a las propuestas anteriores, como se plantea en la figura 60. En este caso, se muestra tres tipologías de sistema de movimiento con tubos de pvc y espuma de poliuretano.

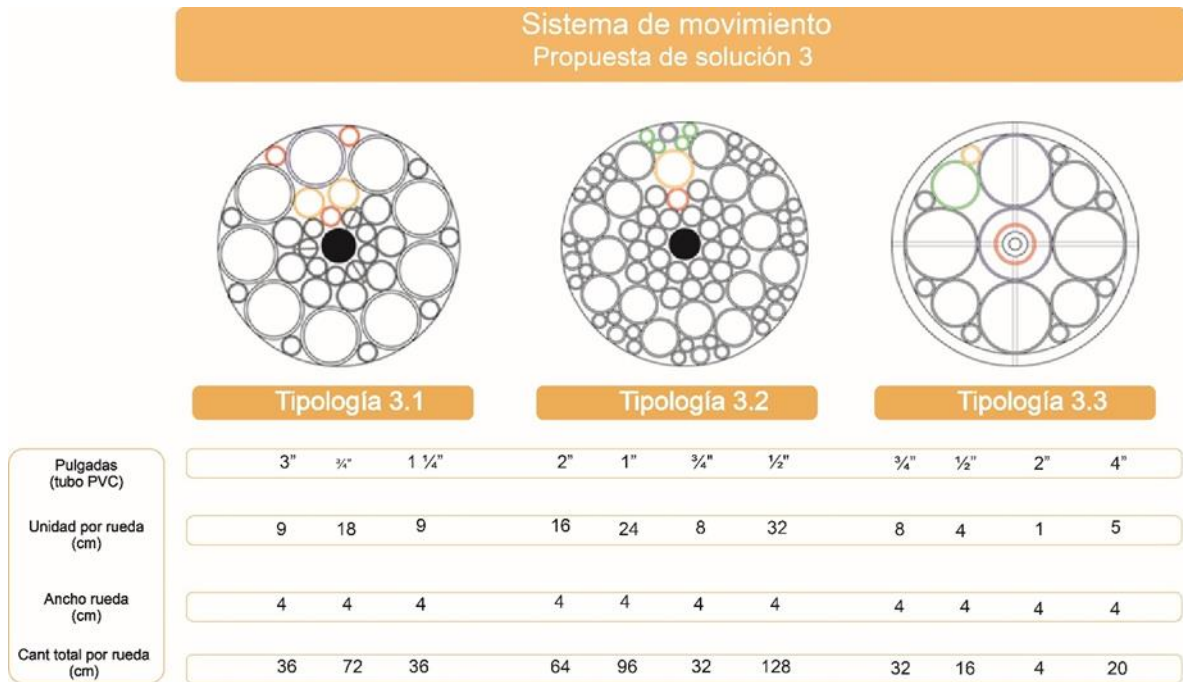
**Figura 59**

*Prototipo. Propuesta de solución 3*



**Figura 60**

*Sistema de movimiento (tipología 3.1, 3.2 y 3.3). Propuesta de solución 3*



Para la verificación de las diferentes tipologías de ruedas (3.1, 3.2 y 3.3), se realizó una prueba el día 26 de abril 2023, en un parque llamado bosque encantado en la ciudad de Bucaramanga.

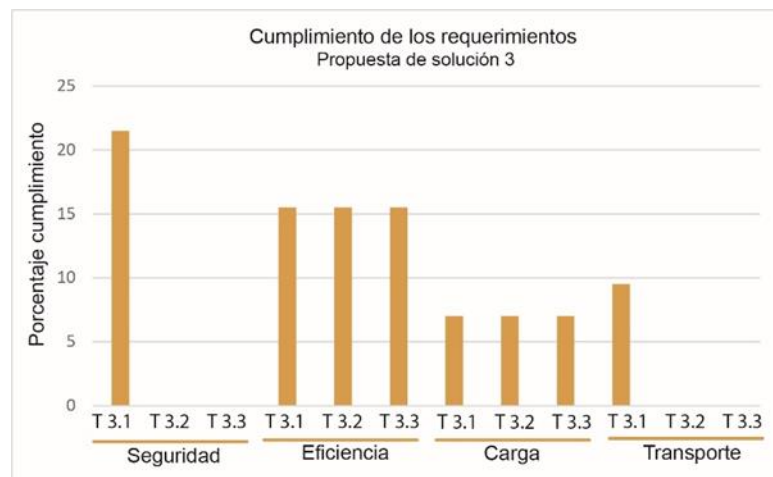
Figura 61

Evaluaciones técnicas y validaciones con usuario. Propuesta de solución 3



**Figura 62**

*Porcentaje de cumplimiento de requerimientos. Propuesta de solución 3*



En las figuras 61 y 62 se puede observar que la tipología 3.1 es la que mejor cumple con los requerimientos, presentando un porcentaje de cumplimiento 5,35% respecto a las tipologías de ruedas 3.2 y 3.3.

Teniendo en consideración los hallazgos encontrados, se seleccionó la tipología 3.1 para realizar las siguientes mejoras:

Mejora 1: El giro fue interrumpido ya que, en el movimiento, la lona hizo que se ajustara el tornillo del eje por lo que se planteó el corte de la lona de poliuretano para que no tuviera contacto con el tornillo del eje

Mejora 2: Adicionar un sistema de rodamiento o aplicar grasa al eje para que facilitara el movimiento.

Al realizar una comparación entre el sistema de movimiento de tipología 1 y tipología 3.1 (ver figura 63 y 64) el equipo de diseño decidió hacer modificaciones a la tipología 1, ya que esta presentó mejor cumplimiento de los requerimientos evaluados.

**Figura 63**

*Propuesta de solución 1. Tipología 1*

**Figura 64**

*Propuesta de solución 3. Tipología 3.1*



Es así, que para esta tipología 4 se planteó un tejido final con fibra de fique (figura 65), con el que se pudo verificar que la problemática presentada del enganche de hojas, troncos de árboles y ramas se podía solucionar.

**Figura 65**

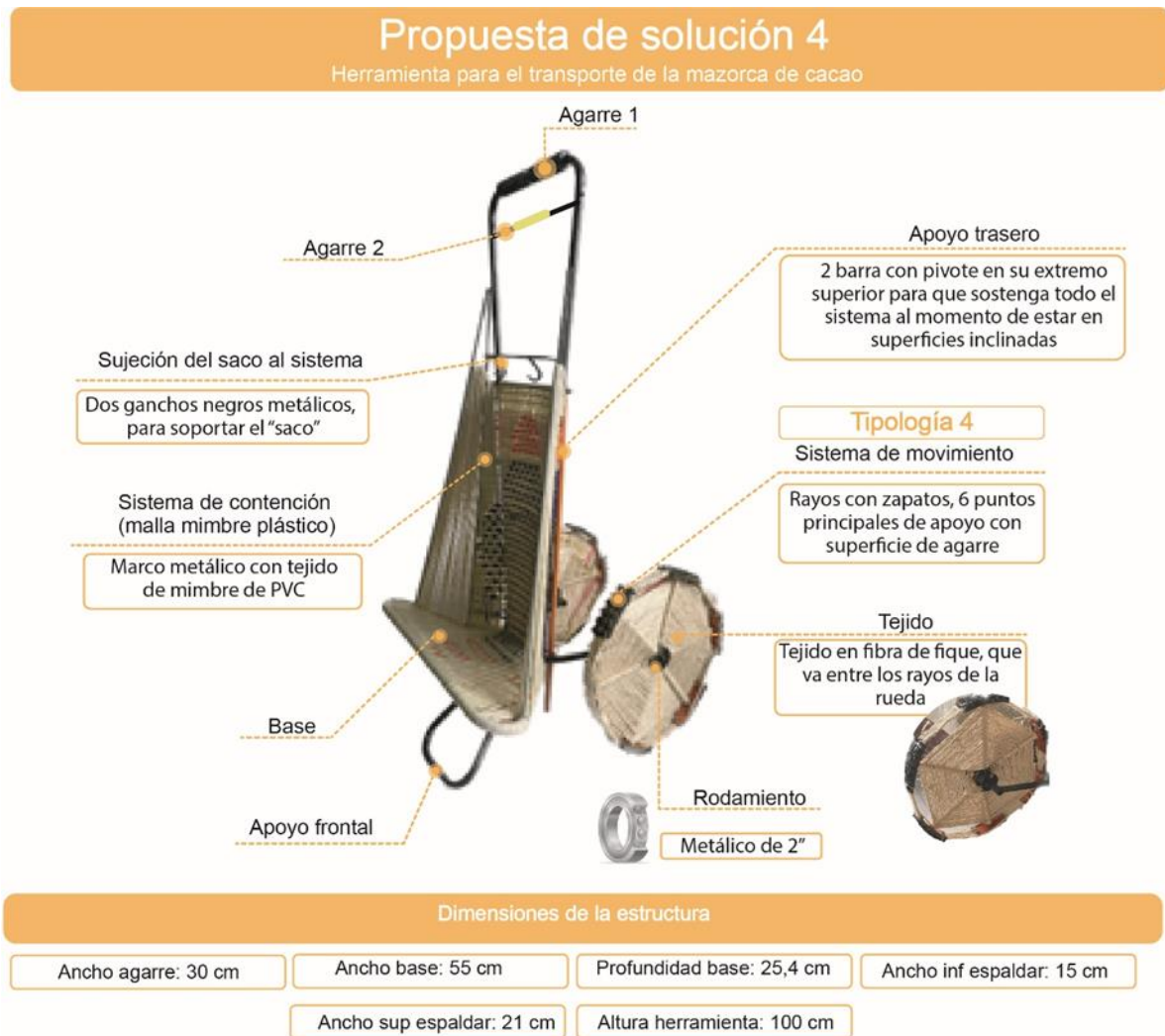
*Tejido con fibra de fique. Tipología 4*



### 6.3.4 Propuesta de solución #4

**Figura 66**

*Propuesta de solución 4. Prototipo*



La evaluación de los atributos de seguridad, eficiencia, carga y transporte para las alternativas de diseño presentadas en este estudio sugirieron, que la propuesta de mejora 4 (figura 66) podría ser una opción viable para realizar la tarea de transporte de la mazorca de cacao desde el cultivo hasta la zona de fermentación.

Con el fin de tomar una decisión con relación a la propuesta se decidió realizar una primera prueba de validación y verificación en entorno y condiciones reales, el día 01 de agosto de 2023 en la finca San Luis, vereda San Nicolás alto, Lebrija.

**Figura 67**

*Validación y verificación 1. Propuesta de solución 4*



Durante la prueba, se utilizó una carga simulada de 23 kg (ver figura 68), se encontraba dentro de un saco de fibra, esta se debía poner en la parte de contención de la herramienta y engancharla en los elementos de sujeción, para después transportar la carga desde el cultivo hasta la zona donde hacen el proceso de fermentación de los granos de cacao.

**Figura 68**

*Carga simulada. Validación y verificación 1*



Antes de finalizar la prueba observamos que la herramienta presentaba problemas en una de las ruedas, por lo que se le pidió al participante detener el proceso y verificar lo sucedido. Uno de los rayos de cada rueda se partió a nivel de la unión con el rodamiento. Por lo que se pausaron las validaciones y verificaciones (figura 69) para realizar las modificaciones a la herramienta y subsanar el daño presentado del componente (Apéndice F).

### Figura 69

#### Resultados de la Validación y verificación 1. Propuesta de solución 4



Una vez subsanado el percance, se realizó la prueba de cabalidad. A continuación, se exponen las modificaciones realizadas en la alternativa final, las cuales surgieron a partir de los procesos de validación y verificación con los usuarios durante la interacción con el prototipo funcional. Los campesinos expresaron las desventajas encontradas al utilizar la alternativa y realizaron observaciones de posibles mejoras de diseño, estas adaptaciones han sido incorporadas

tal y como se ilustra en la Figura 70, con el objetivo de mejorar la eficiencia y cumplir con las necesidades de los usuarios, propiciando una experiencia óptima en el uso del producto.

Dentro de los cambios incorporados se excluyó el agarre 1 para el usuario ya que generaba más esfuerzo al momento de halar la herramienta. Se encontró que esta inducía posturas no neutrales de la muñeca y las cargas desequilibradas respecto al plano sagital. Bogduk (1998) contempla las cargas simétricas como una ventaja para el sistema músculo esquelético, considerando mantener el peso cerca de la línea media en el plano sagital eliminar movimientos de torsión al momento de levantar cargas. Por otro lado, en la prueba los campesinos comunicaron inconformidad con el componente en los que se sujeta el “saco” ya que en algunas ocasiones no quedaba bien enganchado. También sugirieron que el soporte delantero fuera un poco más de largo con el fin de que la herramienta no se deslice con facilidad en el terreno. El eje de las ruedas que se puede observar en la figura 69, presentaba inestabilidad en la herramienta por lo que se modificó a un eje transversal que va de rueda a rueda, garantizando que la herramienta no presente volcamientos. Además, permite un fácil movimiento en el primer momento de poner la herramienta en marcha.

**Figura 70***Propuesta final*

En general, los resultados obtenidos a través de la evaluación de campesinos y la evaluación de requerimientos por parte del equipo de trabajo respaldan la selección de la alternativa como la mejor opción para el desarrollo del producto.

A continuación, se exponen las modificaciones realizadas en la alternativa final, las cuales surgieron a partir de las sugerencias de 18 usuarios durante la interacción con el prototipo funcional en la validación y verificación final. Los campesinos expresaron que la base debía tener un poco más de profundidad para evitar que la carga se caiga, respecto a los ganchos de sujeción

modificarle la inclinación para que no se salga el saco y por último sugirieron adaptar un elemento de sujeción para tener la posibilidad de poner un balde.

Para fortalecer la propuesta final seleccionada, se llevó a cabo una estrategia de marca con el objetivo de lograr una mayor apropiación del producto por parte de los campesinos. Se aplicó la teoría de branding para desarrollar un manual de marca que incluyó el brandbook del producto como resultado final (Apéndice G). La implementación de una marca sólida y efectiva permitirá destacar las características y valores del producto de forma clara y efectiva, generando así una conexión más fuerte entre el usuario y el producto.

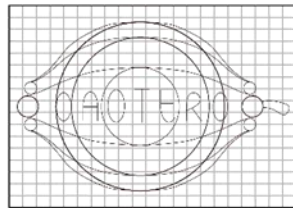
#### **6.4 Estrategia de Marca**

En el proceso de desarrollo de la marca, se tuvo como objetivo establecer una conexión significativa entre el producto y los campesinos a través de su nombre. Para lograrlo durante la primera semana de agosto del 2023, se llevó a cabo una encuesta por medio de Google forms donde se contó con la participación de un grupo de 20 personas entre usuarios primarios y secundarios con el propósito de evaluar diferentes propuestas, en el siguiente enlace se pueden evidenciar las métricas de los resultados obtenidos en la encuesta online

<https://docs.google.com/forms/d/1MVS5Pp0jG3ilq2tkNPQv4C9RFbYrAJgzSWrItg7qGi4/edit#r>. La cual resultó favorable el término "CAOTERO", este término guarda similitud con la expresión utilizada para referirse a los campesinos que cultivan cacao, conocida como "cacaotero".

**Figura 71***Diseño de marca Caotero***Construcción del logo**

El diseño del logo va en busca de representar y contextualizar las características de lo artesanal, familiar y natural que es la esencia de la marca.

**6.5 Validación del sistema basado en criterios de usabilidad**

Se llevó a cabo la validación de usabilidad, detallada en el protocolo de validación (Apéndice H), con el objetivo de evaluar las métricas de rendimiento del sistema propuesto, denominado "Caotero". Esta evaluación se realizó mediante una prueba de eficiencia aplicada a los usuarios primarios del producto, con el fin de valorar la efectividad y satisfacción de los usuarios al interactuar con el nuevo sistema de transporte. El test de usabilidad se aplicó a un grupo de 18 campesinos residentes de la vereda de San Nicolás alto en el mes de agosto de 2023 (Ver figura 72). Las pruebas se llevaron a cabo en las fincas de cada participante y otras en la que los participantes se desplazaban hasta las fincas de vecinos que tienen cultivo de cacao. Cada usuario completó el test en su totalidad, con una duración aproximada de 30 minutos. El diseño de estudio se describe en la Figura 73.

**Figura 72***Prueba de validación. Usuarios usando la herramienta Caotero***Figura 73***Diseño de estudio*

Los resultados obtenidos en la prueba de usabilidad fueron debidamente documentados y consignados en un informe de validación (Apéndice I). Este informe se detalla los hallazgos,

análisis y conclusiones derivados del estudio de usabilidad, brindando una visión integral de los resultados obtenidos y su relevancia para el diseño y la mejora del sistema de transporte de la mazorca de cacao.

### ***6.5.1 Eficiencia***

Peso recolectado. Para la realización del test, se tomó en cuenta la variable "cantidad de mazorca de cacao transportada ", que fue evaluada en términos de peso. Se llevó a cabo un análisis comparativo de la cantidad de cacao transportado por cada participante durante el recorrido del cultivo hasta la zona de fermentación, utilizando los productos "Saco" y Caotero. Se consideraron los datos de los 18 participantes que cumplían con los criterios de inclusión y exclusión establecidos en el protocolo detallado de validación. La variable independiente en este estudio fue el tipo de producto utilizado, siendo "Saco" y Caotero los tratamientos analizados. Por otro lado, la variable dependiente se definió como la masa de mazorca de cacao transportada en un recorrido, representada como la variable respuesta "Y". La hipótesis nula planteada fue la siguiente: "Los contenedores no influyen significativamente en el peso transportado durante un recorrido". En otras palabras, se supuso que no había diferencias significativas en los promedios de los tratamientos 1 y 2, que corresponden a los contenedores de "Saco" y Caotero respectivamente. Por otro lado, la hipótesis alternativa formulada fue la siguiente: "Los contenedores sí influyen significativamente en el peso transportado durante un recorrido". Esta hipótesis considera que existe una diferencia significativa en la masa recolectada entre los dos tipos de contenedores.

En la tabla 6 se muestran los datos correspondientes a la cantidad de mazorca (kg) recolectada durante la tarea 2 por cada participante con el producto 1 y 2.

**Tabla 6.**

*Datos obtenidos prueba del método tradicional (saco) y el caotero*

**Tarea: Realizar el transporte de la mazorca de cacao desde el cultivo hasta el punto de fermentación “Saco” VS Caotero**

<b>Usuario</b>	<b>Tratamiento N°1 “Saco” (Kg)</b>	<b>Tratamiento N°2 “Caotero” (Kg)</b>
<b>1</b>	27.3	27
<b>2</b>	28	23
<b>3</b>	23	23.3
<b>4</b>	28	26
<b>5</b>	26.5	25.8
<b>6</b>	25.4	25
<b>7</b>	24.6	23.5
<b>8</b>	21	23
<b>9</b>	20.8	23
<b>10</b>	24.3	26
<b>11</b>	23.5	25.2
<b>12</b>	23.7	24.8
<b>13</b>	25	25
<b>14</b>	24	25.6
<b>15</b>	24.5	26
<b>16</b>	25.6	26
<b>17</b>	25	25.2
<b>18</b>	26	26

Para analizar la eficacia del producto “saco” en comparación con el Caotero, se utilizó la prueba estadística T-Student para muestras pareadas, la cual permitió comparar de manera significativa los resultados obtenidos por ambos productos. Se considera que valores de  $p < 0,05$  son estadísticamente significativos y se aprueba la hipótesis alterna.

Los resultados muestran un p-valor para dos colas igual a 0,67 es decir mayor a 0,05, por tanto, se concluye que el sistema Caotero reduce la eficiencia en el transporte de cacao en comparación con el transporte de mazorca de cacao tradicional. Esto se refuerza al comparar los promedios de cacao transportado por los campesinos desde el área de cosecha hasta las zonas de fermentación. Esto es un aspecto relevante, ya que el Caotero no está cumpliendo con los estándares de rendimiento del producto actual, con detrimento de la productividad. Indagando con los cacao-cultores se les preguntó por qué no habían puesto más peso en la herramienta y respondieron que creían que el Caotero no iba a soportar mucho peso, pero que al usarla se dieron cuenta que era bastante resistente y ayudaba a disminuir bastante el peso de la carga.

### **6.5.2 Eficacia**

En relación con esta variable, se llevó a cabo la evaluación del porcentaje de usuarios que lograron completar con éxito la tarea asignada: El transporte de la mazorca de cacao desde el cultivo hasta la zona de fermentación comprendida desde la ubicación del “saco” en el Caotero y el descargue del mismo. Los datos correspondientes a esta variable fueron recopilados durante la realización de la prueba y se complementaron con la revisión de los videos grabados como material de apoyo. Se consideraron los datos de los 18 participantes, aplicando los criterios de inclusión y exclusión establecidos en el protocolo detallado de validación.

### **Tabla 7.**

#### *Caracterización de la población*

Caracterización de la población

° Profesión: Agricultor

- ° Género: Femenino y masculino
- ° Rango etario: 25 a 60 años.
- ° Experiencia y/o conocimiento básico en el transporte de la mazorca de cacao.
- ° Ubicación geográfica: Fincas a escala familiar, de la vereda de San Nicolás alto, Lebrija, Santander.

Colombia.

Durante la prueba, el campesino utilizó el producto CAOTERO para llevar a cabo las subtareas, mientras que el investigador registró el desempeño de cada participante y les asignó un nivel de éxito, otorgándoles una calificación basada en su rendimiento, siguiendo los siguientes criterios:

- Éxito completo (sin asistencia y sin errores) = 1.0
- Éxito parcial (sin asistencia y entre 1 y 2 errores) = 0.5
- Fracaso (Con asistencia o más de 2 errores) = 0.0

Se recopilaron datos de edad, sexo y nivel de éxito alcanzado por los 18 participantes en la prueba. Posteriormente, se agruparon los resultados obtenidos para calcular el porcentaje de éxito alcanzado en la ejecución de la tarea 1: Ubicar el “saco” en el espacio de contención del Caotero

### **Tabla 8.**

*Relación de datos de los usuarios y porcentaje de éxito alcanzado en la tarea con el sistema de transporte Caotero*

<b>Grado de éxito</b>	<b>Participantes</b>	<b>Nivel</b>	<b>Total</b>
<b>Completo</b>	17	1,0	17
<b>Parcial</b>	1	0,5	0,5
<b>Fracaso</b>	0	0	0
	18		17,5

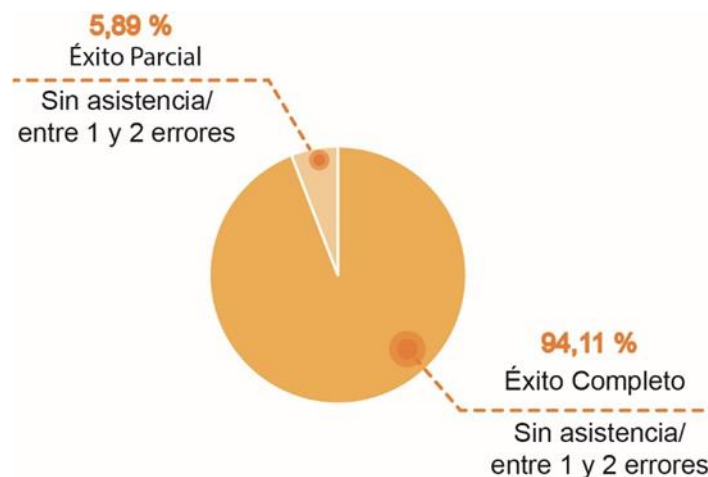
**Porcentaje de éxito**

97,22

Basándose en los resultados presentados en la tabla 8, se observa que se obtuvo un porcentaje de éxito del 97,22 % con un puntaje total de 17,5 sobre 18 puntos. Estos datos revelan que todos los participantes lograron completar de manera total la tarea, lo cual sugiere que la mayoría de los campesinos encontraron el producto fácil de usar durante el transporte de la mazorca de cacao.

**Figura 74**

*Gráfico circular porcentaje de los usuarios que lograron completar la tarea con el sistema de transporte Caotero*



La figura 74, muestra que el 94,44% de los evaluados logró completar la tarea de manera satisfactoria, sin necesitar asistencia ni cometer errores, lo que refleja un desempeño óptimo. Además, el 5,56% restante, aunque presentó un máximo de un error, no requirió la intervención del evaluador para finalizar la tarea. Estos resultados respaldan la idea de que Caotero puede ser una herramienta beneficiosa y práctica para los campesinos involucrados en la recolección y transporte de mazorca de cacao, al brindarles una solución que se adapte a sus necesidades

**6.5.2.1 Frecuencia de errores.** En esta prueba, se evaluó la frecuencia de errores cometidos al utilizar el producto Caotero, considerando cualquier acción que impida al usuario completar una tarea de manera eficaz. Se midió el número de errores en conjunto con la evaluación del éxito, con el objetivo de evaluar el desempeño y detectar mejoras o ajustes en el diseño, la interfaz o las instrucciones del producto.

En la siguiente tabla se ilustran los resultados de la frecuencia de errores cometidos en el paso a paso de la tarea “Transporte de la mazorca de cacao”

**Tabla 9.**

*Relación de datos del paso a paso y el número de errores cometidos en el desarrollo de la tarea con el sistema de transporte Caotero*

<b>Tarea</b>	<b>Descripción</b>	<b>Numero de errores</b>	<b>Nota</b>
<b>Paso 1</b>	Articular los soportes	17	No se daban cuenta de este elemento -No vieron necesario hacer uso de él, ya que el apoyo delantero impide el deslizamiento en el terreno
<b>Paso 2</b>	Enganche de “saco” a la herramienta	8	No se daban cuenta de estos elementos
<b>Paso 3</b>	Agarre de la herramienta	10	Los participantes hicieron uso de las dos manos para mover la herramienta en algunos momentos del trayecto, también interpreto mal la posición de las manos en el agarre
<b>Paso 4</b>	Retirar el “saco” de la herramienta	0	La gente interpretó de manera fácil como debía retirar el “saco”

Según la tabla 9, se observó una frecuencia máxima de 17 personas que cometieron el mismo error durante el paso 1, que consistía en articular los soportes traseros ya fuera porque no los veían o porque no consideraban necesario su uso, lo que indica la necesidad de mejorar el lenguaje de uso mediante indicativos en el diseño e implementación de instrucciones del producto para reducir dichos errores. Se evidenció que los usuarios no identificaban los ganchos para el “saco”. Además, se identificó otra deficiencia en 6 personas, relacionada en como los campesinos agarraban el CAOTERO. Utilizando los datos y el feedback recopilado, se iterará y mejorará el diseño en términos de la teoría de color.

### 6.5.3 CSAT (*Customer Satisfaction Survey*).

En esta prueba, se evaluó la frecuencia de errores cometidos al utilizar el producto Caotero, considerando cualquier acción que impida al usuario completar una tarea de manera eficaz. Se midió el número de errores en conjunto con la evaluación del éxito, con el objetivo de evaluar el desempeño y detectar mejoras o ajustes en el diseño, la interfaz o las instrucciones del producto.

**Tabla 10.**

#### *Encuesta CSAT*

Questionario	Porcentaje	
1. El Caotero (herramienta) cumplió mis expectativas en términos de facilitar el almacenamiento de las mazorcas de cacao durante la recolección.	100%	
2. El Caotero (herramienta) cumplió mis expectativas en términos de facilitar el transporte de las mazorcas de cacao desde el cultivo hasta la zona de fermentación	100%	
3. Estoy satisfecho con el material, tamaño, forma y peso del Caotero	100%	
4. Respecto al transporte de la mazorca de cacao en “saco” al hombro considero que el Caotero (herramienta), mejoro la experiencia y comodidad durante esta tarea	100%	
<b>Preguntas Dicotómicas</b>		
	Si	No
5. ¿Recomendaría el Caotero a otros usuarios que se dediquen a la recolección de mazorcas de cacao? ¿Por qué sí o por qué no?	100%	

6. ¿Experimentó alguna dificultad o inconveniente al utilizar el Caotero? Si es así, ¿puedes describirlo brevemente?	100%	
7. ¿Tiene alguna sugerencia o comentario adicional para mejorar el Caotero?	61.11%	38.89%

La encuesta reveló una alta satisfacción de los usuarios con el producto Caotero en todas las áreas evaluadas. La facilidad de almacenamiento de las mazorcas de cacao durante la recolección cumplió las expectativas de la mayoría de los usuarios, obteniendo una calificación promedio del 100%. El diseño y la fabricación del producto también fueron altamente valorados, con una calificación promedio del 100%. En términos de experiencia y comodidad durante el transporte de la mazorca de cacao obtuvo una calificación de 100%. Sin embargo, los participantes comentaron que aunque les gusto y les facilito la labor de cosecha consideran que se puede transportar más carga, ya que ellos transportan hasta 40 kg en varios recorridos desde el cultivo hasta la zona de fermentación, lo que argumentan es que ya teniendo algo que les facilita y les disminuye la carga en el cuerpo podrían hasta poner un balde en el Caotero y transportar más cantidad en un solo recorrido, lo que indica que se pueden realizar mejoras en estos aspectos.

En general, la satisfacción al utilizar el producto Caotero fue muy alta, con una calificación 100%. Además, el 100% de los usuarios recomendaría el producto a otros usuarios dedicados a la recolección y transporte de mazorca de cacao, teniendo en cuenta que los terrenos de uso no sean tan inclinados. Los usuarios no informaron dificultades en su uso.

En conclusión, los resultados de la encuesta CSAT indican que el producto ha logrado cumplir las expectativas de los usuarios en términos de facilitar el almacenamiento y transporte de la mazorca de cacao y adaptación de sus necesidades.

## 6.6 Validaciones del sistema en términos técnicos

En el presente apartado se enlistan las verificaciones del sistema para la evaluación de los requerimientos de diseño asociados a los atributos de carga, traslado, seguridad y calidad.

### 6.6.1 Seguridad y Traslado

Con el objetivo de obtener información precisa sobre la percepción de los usuarios en términos de seguridad y traslado, se llevó a cabo una encuesta a los 18 campesinos que participaron de la prueba de usabilidad del producto (Apéndice 14). Las preguntas formuladas en la encuesta se centraron en aspectos clave como la sensación de equilibrio, la estabilidad durante el traslado entre surcos. Estos datos recopilados son fundamentales para analizar y comparar las prestaciones de ambas técnicas de recolección, así como para respaldar las conclusiones y recomendaciones de este estudio en busca de un sistema de transporte más seguro y eficiente.

A continuación, se presenta la relación de las preguntas del cuestionario aplicadas y sus respectivos resultados.

#### Tabla 11.

*Resultados del porcentaje de valoración 5 en la encuesta percepción de seguridad y traslado*

	Porcentaje de puntuación
En términos de estabilidad percibida, ¿Qué puntuación del 1 al 5 le asignarías al producto Caotero en cuanto a la sensación de equilibrio durante el proceso de poner la carga de mazorca de cacao?	83.33%
En cuanto a la sensación de seguridad al trasladarse entre los surcos durante el transporte de la mazorca de cacao, ¿Qué puntuación del 1 al 5 le asignarías al producto Caotero en términos de confianza?	100%
En relación con la comodidad y estabilidad al caminar en terrenos inclinados durante el traslado a la zona de fermentación, ¿Qué puntuación del 1 al 5 asignarías al producto Caotero en términos de sensación de seguridad?	88.89%

Si tuvieras que calificar el Caotero en términos de seguridad y traslado percibida durante el transporte de la mazorca de cacao, ¿Qué puntuación del 1 al 5 asignarías?

100%

Basados en los resultados de la encuesta, se puede concluir que el producto Caotero ha obtenido calificaciones altas en términos de seguridad y traslado durante el transporte de la mazorca de cacao. La estabilidad percibida al colocar la carga alcanzó un 83.33%, lo que indica que los participantes se sintieron equilibrados al usar el producto. Además, la sensación de seguridad al moverse entre los surcos obtuvo una calificación de confianza del 100%, lo que demuestra que los participantes se sintieron seguros durante el traslado. La seguridad y traslado durante el transporte, es de 98%. Aunque hubo una ligera disminución en la comodidad y estabilidad al caminar en terrenos inclinados, con un 88.89%, sigue siendo una calificación positiva. En general, los resultados respaldan la percepción de seguridad y traslado del producto Caotero, con una calificación general de seguridad y traslado del 93%. Estos hallazgos indican que el diseño de la herramienta Caotero ofrece mejoras significativas en comparación con el producto “saco”, y se puede considerar una opción más segura y adecuada para el transporte de mazorca de cacao.

### ***6.6.2 Adaptabilidad del sistema***

Para el cumplimiento del requerimiento se tuvieron en cuenta las medidas antropométricas proporcionadas por el estudio (Maradei et al., 2008) donde las variables para tener en cuenta fueron:

- Anchura máxima del cuerpo P99: 53.1 y 53.8 (hombre y mujer respectivamente).
- Altura codo flexionado 90° P25: 103 y 96.6 cm (hombre y mujer)
- Longitud de mano P5: 17 y 13.1 cm mujer.

- Altura muñeca: 81.3 y 77.2 cm (hombre y mujer)

Al reconocer la diversidad de la población objetivo, es necesario tener en cuenta las diferentes longitudes de torso y brazos que presentan las personas. Mediante la inclusión de una variedad de tallas, se garantiza que la herramienta se ajuste de manera adecuada a un amplio rango de individuos, lo que proporciona una mayor libertad de movimiento y una experiencia de uso sumamente confortable.

### **6.6.3 Carga**

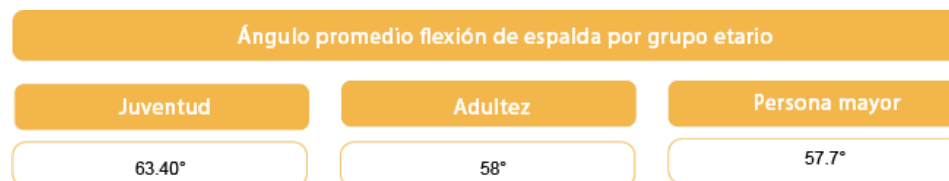
**6.6.3.1 Modelo Biomecánico.** Mediante el análisis de la fuerza del músculo erector de la espalda, se buscó responder la pregunta de investigación planteada en el presente trabajo. El análisis se basó en el modelo biomecánico propuesto por Irving Herman en su libro "Física del Cuerpo Humano", el cual se utilizó anteriormente en el apartado 6.2.

La carga FMe corresponde a la fuerza que ejerce el músculo erector en postura de flexión de espalda  $\alpha$ ,  $W_1$  es el peso del tronco,  $W_2$  es la sumatoria del peso de la cabeza y los miembros superiores. El procedimiento para hallar las magnitudes de las cargas  $W_1$  y  $W_2$  se basan en el método PSC desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia (2015), por otro lado, la longitud  $L$  perteneciente al largo total de la espalda, este se determinó por medio del método LSC (Diego-Mas, 2015) teniendo como referencia la estatura promedio (ver tabla 12) por grupo etario de los participantes obtenida en el apartado de validación. Los detalles en los cálculos se pueden apreciar con mayor exactitud en el Apéndice J.

**Tabla 12.***Datos de cada grupo etario por arquetipos*

Grupo	Edad (fuentes)	Edad (MinSalud)	Peso (kg)	Altura (Cm)
Juventud	20-29 años	19-26 años	66.9	170.1
Aduldez	30-59 años	27-59 años	77.7	174.2
Persona mayor	>65 años	>60	69.1	168.4

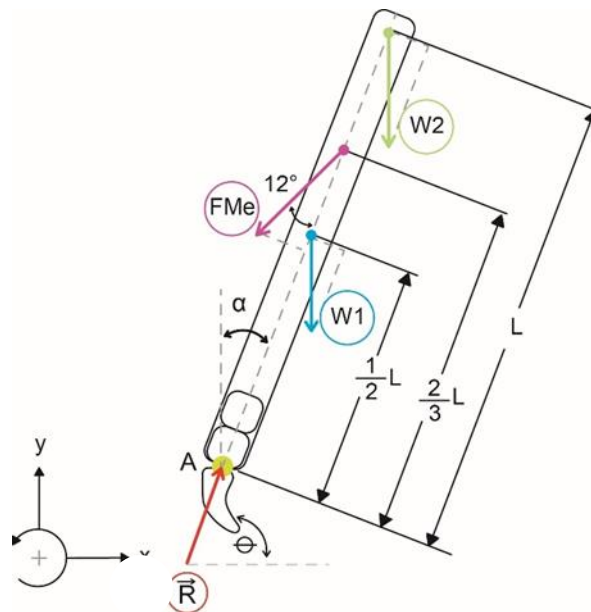
El ángulo  $\alpha$  se obtuvo de la postura flexión de espalda de 18 trabajadores clasificados por grupos etarios juventud (20-29 años), adultez (30-59 años) y persona mayor (60 años) haciendo uso de la herramienta Caotero (ver figura 75), los ángulos de cada usuario se hallaron a través de Kinovea (programa de tratamiento de imágenes), posteriormente en el software Excel se calcularon los ángulos de flexión promedio, utilizando las funciones correspondientes.

**Figura 75***Resultados ángulo promedio flexión de espalda por grupo etario (software Kinovea)*

Por medio de la descomposición de los componentes de las fuerzas se estableció el momento respecto del punto A. Para el desarrollo de este cálculo se inclinaron los ejes de referencia en función del ángulo  $\Theta$  definiendo la dirección del producto cruz entre el vector  $FMe$  y el vector posición  $2/3L$  especificada en la figura 76 como positiva.

**Figura 76**

*Modelo biomecánico de la espalda del campesino en postura flexión de espalda*

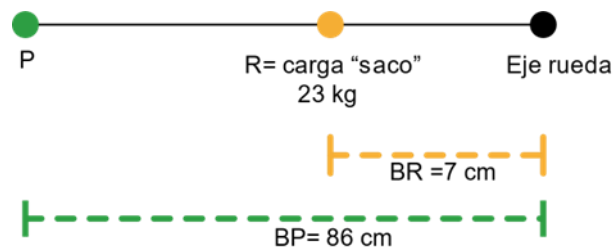


Los datos se ajustaron a las unidades adecuadas, los ángulos sexagesimales se convirtieron a radianes y las masas se multiplicaron por la aceleración de la gravedad. Despejando  $F_{Me}$  de la ecuación anterior y reemplazando las respectivas variables se obtuvieron los valores de magnitud que ejerce el músculo erector para mantener el tronco estabilizado presentado en la figura 76.

También se halló el dato de ventaja mecánica que presenta la herramienta Caotero, la cual se plantea como una palanca de segundo grado (ver figura 77). Dado que, (P) potencia, (R) es la carga del bulto de mazorca, (BP) distancia entre la potencia y el eje de la herramienta, (BR) distancia entre la carga y el eje.

**Figura 77**

Diagrama ventaja mecánica Caotero



Realizando este cálculo obtuvimos que la ventaja mecánica es:

$$VM = \frac{BP}{BR} = 12.28$$

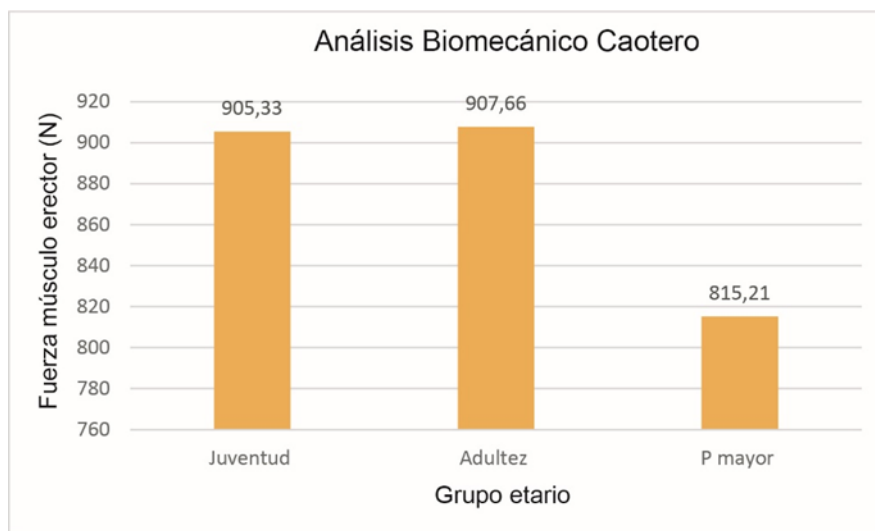
Para el análisis biomecánico se realizaron 3 cálculos con los datos respectivamente, jóvenes, adultos y personas mayores, obteniendo los resultados presentados en la figura 78.

$$\sum MA = 0$$

$$\sum MA = -\frac{L}{2} * (w1) \text{ sen } \alpha + \frac{2}{3}L * FMe \text{ sen } 12^\circ - L * (w2) \text{ sen } \alpha$$

**Figura 78**

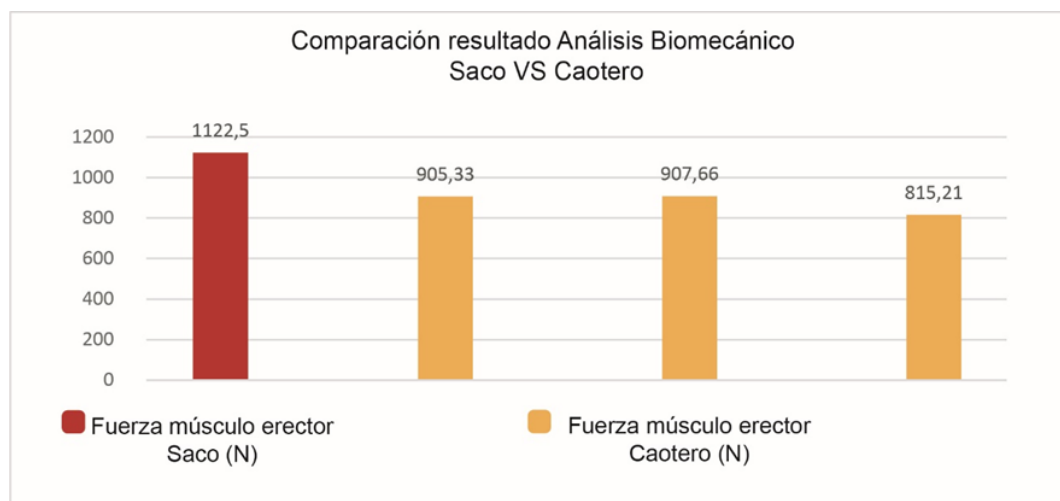
Resultados promedio fuerza músculo erector por grupo etario



Del análisis biomecánico se obtuvo la fuerza del músculo erector de cada grupo etario respecto de la flexión de espalda, donde se evidencia que el usuario adulto debe aplicar más fuerza sobre el equipo, una fuerza de  $F = 907.66\text{N}$ , siendo este resultado viable y seguro para con la salud física de los usuarios. Este valor de fuerza corresponde a 92.55 kg de trabajo humano puntuales.

### Figura 79

*Comparación de los resultados promedio fuerza músculo erector por grupo etario y método tradicional (saco)*



En la figura 79 se muestra las magnitudes de fuerza del músculo erector en el análisis del saco comparado con el del Caotero respecto de los grupos etarios, puede que no supere el valor de 3400 newtons propuesto por NIOSH, pero eso demuestra que el método tradicional requiere acciones correctivas inmediatas en aras de prevenir riesgos por lesiones localizadas ya que presenta un sobre esfuerzo de 1122.5 N. Al realizar la comparación del método tradicional con el Caotero se puede evidenciar un valor promedio de 21.95% de disminución de la Fuerza. Este valor se obtiene promediando las fuerzas del músculo erector de jóvenes, adultos y persona mayor dando (876.07 N), este valor respecto a la fuerza aplicada con el “saco” (1122.5 N), muestra una

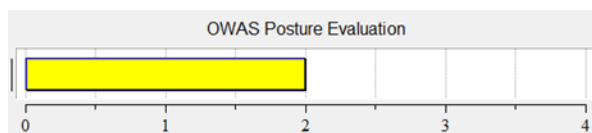
disminución por lo que se puede decir que el nuevo sistema propuesto si presenta mejoras significativas en la población de campesinos cultivadores de cacao.

**6.6.3.2 Postura.** Con el objetivo de comparar el nivel de riesgo postural entre los productos “saco” y Caotero, se llevó a cabo una evaluación utilizando el método OWAS mediante el software Siemens Analysis Toolki. Esta evaluación tenía como propósito analizar la carga postural en la actividad de transporte de la mazorca de cacao. Se emplearon registros audiovisuales de la tarea realizada por 18 participantes de la prueba de usabilidad seleccionados de forma no probabilística a conveniencia, los videos permitieron examinar detalladamente las posturas adoptadas durante la actividad y sacar valores promedios de los ángulos por grupo de edad. El objetivo del test consistió en identificar y clasificar las posturas de trabajo de acuerdo con su nivel de riesgo, siguiendo la estructura establecida en el apartado 6.1, que comprende el transporte de la mazorca de cacao de manera tradicional.

Una vez insertados los datos antropométricos, las cargas y los ángulos de movilidad hallados a través de la aplicación de Kinovea, se obtienen las puntuaciones finales proporcionales al riesgo que conlleva la realización de la tarea. A continuación, en la imagen se muestra los resultados generados en la evaluación del método usando el software Jack (figura 80).

### Figura 80

*Resultados obtenidos en el análisis de OWAS*



Según los resultados obtenidos, Caotero muestra una disminución en los niveles de riesgo en las posturas de transporte de la mazorca de cacao respecto del “saco”, Caotero obtuvo un nivel

de riesgo 2, lo que indica que, aunque no se considera una situación de alto riesgo no se logró alcanzar el nivel de riesgo aceptable (nivel 1), se debe especificar que nunca se va a reducir a este nivel de riesgo porque siempre va a existir la carga. Se evidencian mejoras en el diseño, que contribuyen a reducir las posturas con una carga postural excesiva. La disminución en los ángulos de flexión de espalda en el transporte de la mazorca de cacao, pueden atribuir a que no tienen la carga directa sobre su cuerpo como se hace actualmente.

## 6.7 Concepto final de diseño

### 6.7.1 Ficha técnica

#### Figura 81

##### Ficha técnica Caotero



Caotero es una herramienta diseñada para el transporte de la mazorca de cacao desde el cultivo hasta la zona de fermentación. Este sistema ha sido desarrollado con el objetivo de mitigar riesgos asociados a la labor de cosecha de cacao y garantizar el cuidado del cacaocultor y del cultivo

**FUNCIONAMIENTO**

La herramienta Caotero integra un sistema de contención y un sistema de movimiento no convencional diseñado para transportar de manera ergonómica y eficiente la carga de mazorca de cacao. Esta herramienta cuenta con una estructura central, agarre para el usuario, enganches para el saco y soportes delantero y trasero. Este sistema garantiza la disminución ejercida sobre el músculo erector de la espalda, mediante un enfoque biomecánico generando una mejor experiencia al cacaocultor.

**PRODUCCIÓN**

Caotero se destaca por su producción de alta calidad y durabilidad. La estructura esta fabricada es tubería y varilla metálica, lo que garantiza una excelente resistencia a la carga, al desgaste y a los impactos. El contenedor, hecho en mimbre de PVC impermeable y resistente. Estas características garantizan que el CAOTERO sea confiable y capaz de soportar las exigencias del transporte de la mazorca de cacao y se adapte a las características propias del terreno de los cultivos.

**MANTENIMIENTO**

Caotero ofrece superficies lisas de fácil limpieza garantizando una adecuada higiene y preservación del fruto de cacao.

Capacidad recomendada para el usuario  
23 Kg por recorrido




### 6.7.2 Costo de fabricación

Para calcular los gastos de producción del sistema de recolección Caotero, se tomó como referencia la cotización de los componentes que lo conforman. En la Tabla 13 se detalló cada elemento, considerando sus dimensiones y material utilizado. Teniendo en cuenta estos precios para una producción de 100 unidades. Como resultado de este análisis, se determinó que el costo de Caotero es de \$386.084 pesos colombianos.

**Tabla 13.**

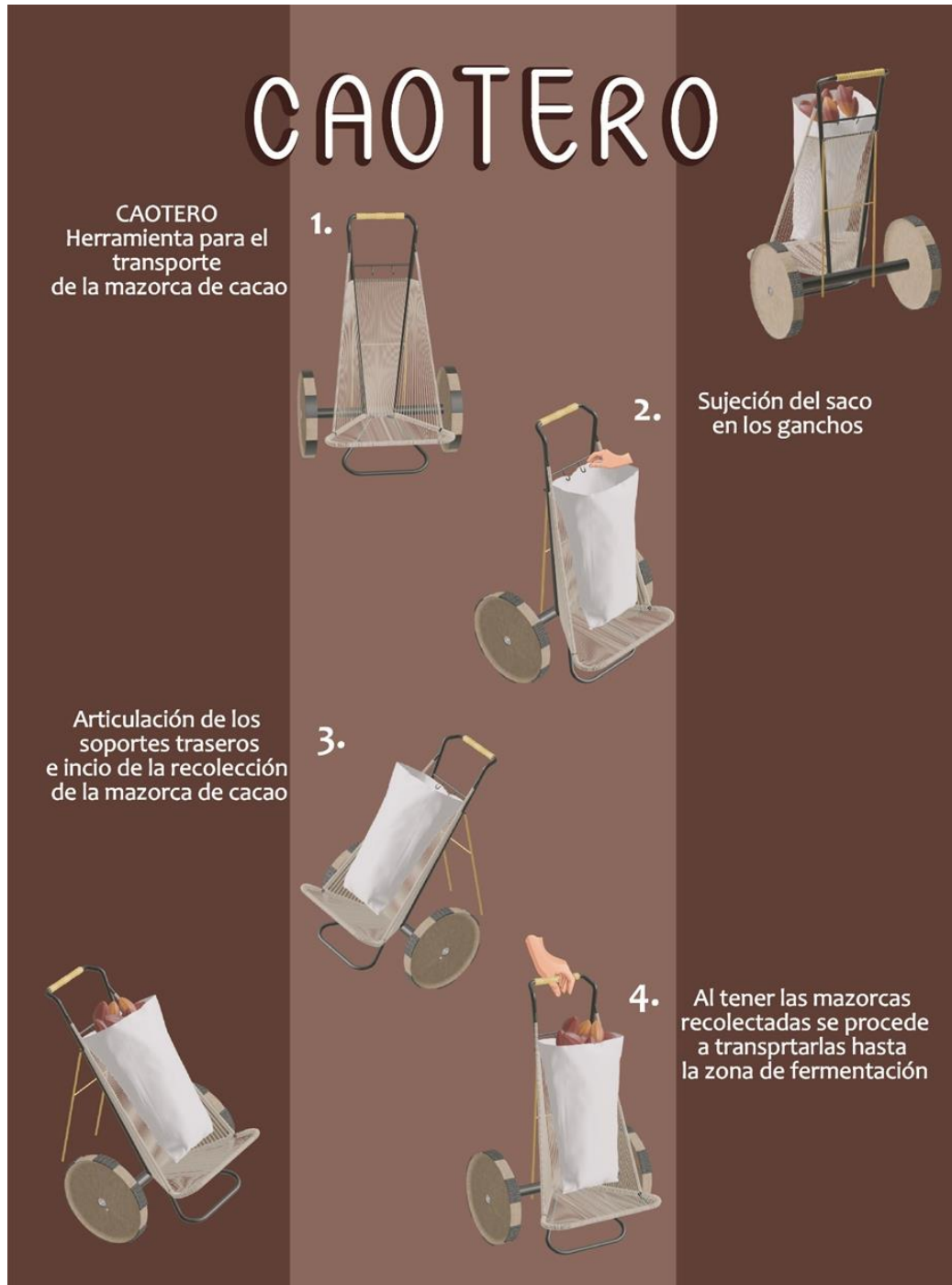
*Costos de fabricación del Caotero*

Descripción	Material	Valor total (unidad)
<b>Estructura</b>	Tubería 5/8"	\$ 147.059 (IVA incluido)
	Varilla 1/4	
	Varilla 12mm	
	Balinera 2"	
	Pintura electroestática	
<b>Tejido</b>	PVC brillante	\$ 123.200 (IVA incluido)
<b>Mano de obra</b>		\$ 115.825
<b>Total</b>		\$ 386.084

### 6.7.3 Diagrama de uso

Figura 82

Diagrama de uso



## 7. Conclusiones

En conclusión, de acuerdo con la documentación presentada en el desarrollo del proyecto, en las salidas de campo donde se cultiva la mazorca de cacao, los cacao-cultores se ven inmersos en situaciones de riesgos físicos ya sea por la carga puesta sobre su cuerpo o por deslizamientos debido al tipo de terreno franco-arcilloso. A partir de esto, a través de la investigación de la literatura, se pudo evidenciar que no existen productos con ventaja mecánica en el mercado que permitan realizar la tarea de transporte de mazorca de cacao de manera segura y cómoda para los cacao-cultores. El análisis observacional por el método OWAS realizado en la investigación, muestra un nivel de riesgo 4, esto quiere decir que se deben tomar acciones correctivas de manera inmediata.

Se establece de acuerdo a la literatura, que la biomecánica de halar la carga a través de una herramienta permite una mejor distribución de las presiones del cuerpo sobre la zona lumbar, considerada como una mejora porque requiere menor cantidad de esfuerzo muscular para sostener y manipular una carga sobre el cuerpo.

Establecido lo anterior se presentaron a través de procesos de co-creación con los campesinos 5 alternativas de diseño que fueron evaluadas, por medio de la matriz Pugh, concluyendo que la alternativa 1 fue la más óptima ya que presentaba una estructura de contención adecuada para la mazorca y un sistema de movimiento no convencional que podía funcionar en este tipo de terreno, teniendo en cuenta la categorización de los requerimientos como atractivo en el modelo KANO, esto debido a que para los campesinos era algo que no habían visto antes.

Después de seleccionar el concepto mediante la evaluación a partir de la matriz Pugh, la aplicación de una encuesta para la evaluación de los atributos de uso, de función, técnicos

productivos y estético-formales y el diagrama morfológico, se construyó el primer prototipo de alta fidelidad a escala 1:1 que permitió evaluar e identificar falencias como, soportes cuando la herramienta se encontraba en reposo, elementos de sujeción para el saco y enganche de material orgánico por el tipo de rueda. Teniendo en cuenta estos factores se construyó el segundo prototipo 2, con el que se identificó que se seguía presentando problemas en el enganche de material orgánico, mayor inestabilidad y aumento en el peso de la herramienta. Para este momento del proceso se propuso un prototipo 3 con el que se verificó que el tipo de ruedas presentaban mayor dificultad en el giro respecto a las anteriores y persistía la inestabilidad en la herramienta. El punto para rescatar de estas ruedas es que por su forma continua no hubo enganche de material orgánico.

Se decidió construir el prototipo 4, con esta rueda se presentó mejoras en el rodamiento, estabilidad y peso de la herramienta. A esta rueda se le planteó un tejido en fibra de fique con el objetivo de eliminar el enganche de hojas, ramas de árboles, entre otros. Con este prototipo a escala real se buscaba validar la propuesta final y dar respuesta a la pregunta de diseño planteada ¿Cómo diseñar una herramienta con calidad ergonómica para el transporte de la mazorca de cacao en cultivos de escala familiar, que se adapte a las características de los terrenos en el departamento de Santander? Se obtuvo un resultado de aceptación alto, permitiendo facilitar y mejorar el esfuerzo del cacao-cultor la tarea de transporte de mazorca de cacao desde el cultivo hasta la zona de fermentación. Mediante métodos de auto-reporte se valida en el análisis de la métrica de eficacia se llevó a cabo la evaluación del porcentaje de usuarios que lograron realizar con éxito la tarea asignada y se categorizó el alcance 3 niveles, éxito completo, parcial o fracaso. El 97.22% de los campesinos logró completar la tarea asignada de manera exitosa, lo que sugiere que la mayoría encontró el producto Caotero fácil de usar durante el transporte. Además, el 94.11% de los evaluados logró completar la tarea sin necesitar asistencia ni cometer errores, reflejando un

desempeño óptimo. Además, se analizó la frecuencia de errores cometidos durante la ejecución de la tarea donde se observó un patrón en la articulación de los soportes traseros, lo que indica la necesidad de mejorar el lenguaje de uso mediante indicativos en el diseño e implementación de instrucciones del producto para reducir dichos errores.

Finalmente, se determinó que en el proceso de validación de análisis biomecánico de la herramienta Caotero obtuvo una disminución de fuerza ejercida sobre el músculo erector del 21.95% comparado con el “saco” al hombro.

Caotero resultó en una reducción significativa de la carga biomecánica transmitida a las vértebras lumbares, propiciando un impacto positivo en el bienestar de los campesinos. Este logro se atribuye a la inclusión activa de los campesinos durante todas las etapas del proceso de diseño, lo que permitió adaptar el sistema a sus necesidades y preferencias. Además, se alcanzó una solución simple, minimalista y eficiente que optimiza la funcionalidad del sistema. Estos resultados respaldan la eficacia y aceptación de la herramienta Caotero como una alternativa beneficiosa en el contexto de la recolección y transporte de la mazorca de cacao.

### Referencias Bibliográficas

- AlEuropea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. (2007). *Introducción a los trastornos musculoesqueléticos de origen laboral*. [https://saludlaboralydiscapacidad.org/wp-content/uploads/2019/05/Facts-71- \(A, C, E, & P, 2012\)Introduccion-a-los-trastornos-musculoesqueleticos-de-origen-laboral-1.pdf](https://saludlaboralydiscapacidad.org/wp-content/uploads/2019/05/Facts-71- (A, C, E, & P, 2012)Introduccion-a-los-trastornos-musculoesqueleticos-de-origen-laboral-1.pdf)
- Alverson, W., Whitlock, B., Nyffeler, R., Bayer, C., y Baum, D. (1999). Filogenia del núcleo de Malvales: evidencia de datos de secuencia ndhF. *American Journal of Botany*, 86(10), 1474–1486.
- Angarita, D. (2009). *Manejo ecológico del cultivo de cacao*. Cooperativa Ecocacao.
- Aranzazu, L. (1997). Comportamiento de la llaga estrellada *Rosellinia pepo* Pat. sobre raíces vivas y muertas de cacao. *Corpoica*, 3–12. [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12649/%2076252\\_60025.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12649/%2076252_60025.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Batalla, C y Bautista, J. (2015). *Ergonomía y evaluación del riesgo ergonómico*. Universidad Politecnica Catalunya. [https://www.researchgate.net/profile/Joaquin\\_BautistaValhondo/publication/274079604\\_Ergonomia\\_y\\_evaluacion\\_del\\_riesgo\\_ergonomico/links/51552120cf2b5d6a0e98e67/Ergonomia-y-evaluacion-del-riesgo-ergonomico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Joaquin_BautistaValhondo/publication/274079604_Ergonomia_y_evaluacion_del_riesgo_ergonomico/links/51552120cf2b5d6a0e98e67/Ergonomia-y-evaluacion-del-riesgo-ergonomico.pdf)
- Bogduk, N. (1998). *Clinical Anatomy of the Lumbar Spine and Sacrum* (3rd ed.). Churchill Livingstone.
- Bojaca, Y., & Naranjo, D. (2020). *Exposición al factor de riesgo ergonómico, desórdenes musculoesqueléticos y aspectos psicosociales asociados a la aparición de los DME en*

- trabajadores de cultivo de flor*. (Tesis de pregrado). Universidad de ciencias aplicadas y ambientales U.D.C.A, Bogotá.
- Braudeau, J. (1970). *El Cacao: Técnicas agrícolas y producciones tropicales*.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=215599&pid=S0002-192X200200030000600002&lng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=215599&pid=S0002-192X200200030000600002&lng=es)
- Caicedo, A., Manzano, J., Gómez, D., y Gómez, L. (2012). The effect of load weight vs. pace on muscle recruitment during lifting. *Applied Ergonomics*, 43(6), 1044–1050.  
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.03.004>
- Carga física: Factores de riesgo ergonómico y sus medidas preventivas*. (s.f.). Chile.  
<https://portal.croem.es/prevergo/formativo/3.pdf>
- Ciancaglini, N. (s.f). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*.  
[http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\(R-001\)%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20(R-001)%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf)
- Delgado, N. (2018). *Plan de manejo integral de residuos derivados de la extracción de la pulpa de cacao en la hacienda Bellavista, Luz de América, provincia de Azuay-Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca
- Diego-Mas, J. (2015). *Evaluación postural mediante el método OWAS*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>
- Dostert, N, Roque, J, Cano, A, la Torre, M., y Weigend, M. (2011). *Hoja botánica: Cacao* (Primera Edición). Lima. [http://www.botconsult.com/downloads/Hoja\\_Botanica\\_Cacao\\_2012.pdf](http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Cacao_2012.pdf)
- FAO, MinMinas, & MinAgricultura. (2020). *Gasificación de biomasa*.  
[http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/04Gasificacion\\_hojaTecnica.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/04Gasificacion_hojaTecnica.pdf)

- Fedesarrollo. (2014). *Política comercial del sector agrícola en Colombia*. Centro de Investigación y Económica y Social.
- Fierro, P. (2014). *Tratamiento de la información altimétrica de la carta topográfica*. [http://ffyl1.uncu.edu.ar/IMG/pdf/GUIA\\_PARA\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_LA\\_INFORMACION\\_PENDIENTES.pdf](http://ffyl1.uncu.edu.ar/IMG/pdf/GUIA_PARA_TRATAMIENTO_DE_LA_INFORMACION_PENDIENTES.pdf)
- García, J, Romero, M, y Ortiz, L. (2007). *Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao: cartilla* (Tesis de pregrado). Agrosavia, Mosquera. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2189>
- Gavilánez, N. (2017). *Evaluación de riesgos ergonómicos y diseño de un prototipo para la cosecha y carga de la mazorca de cacao, reduciendo la exposición a lesiones músculo esqueléticas en productores de la asociación agroartesanal Wiñak* (Tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- Gaviria, N. (2022). Reactivación de Santander. *La República*. <https://www.larepublica.co/especiales/reactivacion-de-santander/al-menos-uno-de-cada-diez-productos-del-agro-sale-del-departamento-de-santander-3253238>
- Guía de buenas prácticas de cosecha, fermentación y secado para la producción de cacaos especiales*. (s.f.).
- Health and Safety Statistics. (2013). *Musculoskeletal Disorders in Great Britain*. In National statistics.
- Ministerio de trabajo y asuntos sociales (1997). *Manipulación de cargas*. España
- Jaimes, Y, Agudelo, G, Báez, E, Rengifo, G, y Rojas, J. (2021). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Santander* (Tesis de pregrado).

- Agrosavia Corporación Autónoma de Investigación, Mosquera.  
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404647>
- López, A, Ferreira, H, Llamosas, A, y Romeu, A. (1985). Present Status of Cacao by Products Utilization in Brazil. *Rev. Theobroma*. Recuperado de: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302036539>
- Lu, F, Rodríguez, J, Van, I, Westwood, N, Shaw, L, Robinson, J, Warren, G, Chatzifragkou, A, McQueen, S, Gomez, L, Faas, L, Balcombe, K, Srinivasan, C, Picchioni, F, Hadley, P, Charalampopoulos, D. (2018). Valorisation strategies for cocoa pod husk and its fractions. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*,14: 80-88.  
<https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.07.007>
- Lucas, A, Peso, C, Rodríguez, E, y Prieto, P. (2012). *Biomasa, Biocombustible y Sostenibilidad*.  
<http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>
- Mantilla, J, Arguello, A, y Méndez, H. (2000). *Caracterización y tipificación de los productores de cacao del departamento de Santander*. Bucaramanga: Corpoica.  
<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6355/1/150.pdf>
- Medina, J, Vargas, M, y Coronel, O. (s.f.). *CACAO: Operaciones Poscosecha*. Instituto Tecnológico de Veracruz y el Instituto Tecnológico Superior de Huatusco.  
<https://www.fao.org/3/au995s/au995s.pdf>
- Milhem, M., Kalichman, L., Ezra, D., Y Alperovitch-Najenson, D. (2016). Work-related musculoskeletal disorders among physical therapists. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 29 (5): 735-747.  
<http://dx.doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00620>

- Ministerio de Agricultura. (2020). *Plan departamental de extensión agropecuaria* .  
<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PD EA/Santander.pdf>
- Mojica, A, & Paredes, J. (2006). *Características del cultivo del cacao en Santander*. Centro Regional de Estudios Económicos Bucaramanga. Bucaramanga.  
[https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/2039/eser\\_40.pdf](https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/2039/eser_40.pdf)
- Nuzzo, J. L. (2023). Narrative Review of Sex Differences in Muscle Strength, Endurance, Activation, Size, Fiber Type, and Strength Training Participation Rates, Preferences, Motivations, Injuries, and Neuromuscular Adaptations. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 37, (2): 494-436
- Ortiz, K. (2013). *Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de Cacao sobre algunas propiedades químicas y biológicas en el suelo de una Finca Cacaotera, Municipio de Yaguará (Huila)* (Tesis de Pregrado). Universidad de Manizales, Manizales.
- Perdomo, M. (s.f.). *Caracterización de la cadena de abastecimiento y la cadena de valor del cacao en Colombia* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Perlaza, M. (2009). *Análisis del sistema productivo del cacao Theobroma cacao L. en la zona baja del río Tapaje municipio de el Charco, departamento de Nariño* (Tesis de pregrado). Universidad del pacífico, Buenaventura.
- Sabelotodo.org. (s.f.). *Suelo franco*. <http://www.sabelotodo.org/informacion/colaboradores.html>
- Sánchez, J. (2013). *Evaluación energética de cáscaras de cacao nacional y CCN-51* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.  
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4508/1/tesis.pdf>

- Sánchez, V., Zambrano, J., Iglesias, C., Rodríguez, E., Villalobos, V., Díaz, F., y Rodríguez, O. (2019). *La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe*. BID, ESPOL y INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5382/1/Informe%20CACAO.pdf>
- Secretaria de salud laboral. (2008). *Manual de Trastornos Musculoesqueléticos*. Junta de Castilla y León
- Serrano, C. (2009). *Cocoa Santander* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Tilano, N, Pérez, C, y Duarte, A. (2020). Caracterización de las condiciones ergonómicas y de salud en productores de cacao en Dabeiba - Antioquia. *Revista de Investigaciones Agroempresariales*.
- Tratamiento de la información altimétrica de la carta topográfica. (s.f.). [http://ffyl1.uncu.edu.ar/IMG/pdf/GUIA\\_PARA\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_LA\\_INFORMACION\\_PENDIENTES.pdf](http://ffyl1.uncu.edu.ar/IMG/pdf/GUIA_PARA_TRATAMIENTO_DE_LA_INFORMACION_PENDIENTES.pdf)
- Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios -UGRA. (2020). *Cacao*. Finagro.
- Zamudio, L, Urbiola, M., & Sánchez, P. (2011). Factores sociodemográficos y laborales asociados con epicondilitis lateral de codo. *Revista Médica Inst Mex Seguro Soc* 49 (1): 59-64