



**DISEÑO DE UN CARRO ERGONÓMICO PARA LA RECOLECCIÓN DE
ALBAHACA EN NALPI HERBS S.A.S.**

PROYECTO DE INTEGRACIÓN

AUTOR:

LANDÍNEZ MACIAS JAIME ERNESTO FRANCISCO

TUTORA:

GRAJALES MEDINA DIANA MARÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ D.C

2025

TABLA DE CONTENIDO

Índice de Figuras	3
Índice de Tablas	3
RESUMEN EJECUTIVO	4
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	8
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	9
Preguntas de Investigación	10
JUSTIFICACIÓN	11
ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	12
MARCO DE REFERENCIA	16
ANÁLISIS DE RESTRICCIONES	22
METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	25
REPRESENTACIÓN VISUAL DEL DISEÑO PROPUESTO	30
ANÁLISIS ECONÓMICO DEL DISEÑO PROPUESTO	34
PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	43
Conclusiones	45
Discusión de los resultados	48
REFERENCIAS	49

Índice de Figuras

Figura	Título	Página
Figura 1	Vista isométrica del carro	31
Figura 2	Vista superior del carro	33
Figura 3	Vista lateral del carro	33
Figura 4	Vista frontal del carro	33
Figura 5	Render del carro	34

Índice de Tablas

Tabla	Título	Página
Tabla 1	Costos directos	35
Tabla 2	Costos indirectos	36

RESUMEN EJECUTIVO

En NALPI Herbs S.A.S., empresa productora y exportadora de albahaca en Honda, Tolima, los trabajadores deben cosechar en una posición incómoda, agachados y expuestos al sol durante varias horas. Esta condición genera cansancio, incomodidad y problemas ergonómicos que pueden afectar su rendimiento. Además, deben mover constantemente las neveras de icopor donde almacenan la albahaca cosechada, trasladándolas aproximadamente 20 metros desde el surco hasta el tren que las recepciona y que posteriormente las transporta a la zona de poscosecha. Estudios previos han demostrado que la exposición prolongada a posturas forzadas y la manipulación de cargas en el sector agrícola incrementan el riesgo de trastornos musculoesqueléticos y reducen la productividad (Moreno Díaz, 2023; International Labour Organization, 2019).

El proyecto busca diseñar un carro ergonómico que les permita sentarse mientras cosechan, protegerse del sol y transportar las neveras con facilidad. Con esta solución, se espera mejorar las condiciones laborales y optimizar el proceso de recolección, reduciendo la carga física de los trabajadores y haciéndolo más eficiente. La ergonomía aplicada en el sector agrícola ha demostrado ser efectiva en la reducción de la fatiga y el aumento del rendimiento en diferentes cultivos, evidenciando su impacto positivo en la productividad y salud de los trabajadores (OSHA, 2020).

Para el desarrollo del proyecto, se analizarán las condiciones actuales de recolección, se evaluarán los principales factores ergonómicos involucrados y se elaborará un diseño detallado del carro ergonómico, considerando su viabilidad técnica y económica, asegurando que cumpla con principios ergonómicos y normativas aplicables antes de una posible implementación futura.

La metodología estará compuesta por varias fases. En la fase de investigación y análisis, se identificarán los requerimientos ergonómicos y mecánicos, tomando en cuenta las condiciones del terreno y las necesidades de los trabajadores. Luego, en la etapa de diseño, se definirán los materiales, estructura y dimensiones óptimas del carro, asegurando que cumpla con los requerimientos ergonómicos y de funcionalidad establecidos. El diseño se desarrollará considerando

factores como estabilidad, capacidad de carga y facilidad de uso en terrenos agrícolas, garantizando que la solución propuesta sea práctica y eficiente para los trabajadores.

Finalmente, se realizará una validación del diseño a través del análisis de cumplimiento con principios ergonómicos y normativas aplicables, asegurando su viabilidad antes de una posible implementación futura.

INTRODUCCIÓN

En NALPI Herbs S.A.S., empresa dedicada a la producción y exportación de albahaca en Honda, Tolima, los trabajadores de campo enfrentan condiciones de trabajo que pueden afectar su rendimiento y bienestar. Durante la cosecha, deben permanecer agachados por largos periodos, expuestos al sol y realizando esfuerzos constantes para mover las neveras de icopor donde almacenan la albahaca. Este proceso no solo es físicamente exigente, sino que también puede impactar la eficiencia y calidad de la recolección.

Diversos estudios han demostrado que la agricultura es uno de los sectores con mayor exposición a riesgos ergonómicos, junto con la construcción y la minería (International Labour Organization, 2009). Investigaciones previas han identificado que factores como la flexión constante del tronco, la manipulación manual de cargas y la falta de herramientas ergonómicas contribuyen al desarrollo de trastornos musculoesqueléticos en los trabajadores agrícolas (Fathallah, 2010). Además, el Análisis Ergonómico del Trabajo (AET) ha sido utilizada en la evaluación de labores agrícolas como la fruticultura y la horticultura, demostrando que las posturas forzadas y la sobrecarga física afectan la productividad y la salud de los trabajadores (Abrahão et al., 2012).

Dada esta problemática, surge la necesidad de diseñar y construir un carro ergonómico para la recolección de albahaca, que permita a los trabajadores sentarse mientras cosechan, resguardarse del sol y transportar las neveras con mayor facilidad. Con esta solución, se busca mejorar las condiciones laborales, optimizar el proceso de recolección y reducir la carga física que enfrentan los trabajadores diariamente.

Este proyecto se enfocará en analizar la situación actual del proceso de cosecha en NALPI, identificar los principales factores ergonómicos involucrados y desarrollar una propuesta de diseño del carro ergonómico, asegurando que cumpla con criterios de ergonomía y funcionalidad sin necesidad de pruebas en software avanzado. El diseño de herramientas ergonómicas en el sector agrícola es clave para mejorar la calidad del trabajo y la sostenibilidad de la producción. En este

contexto, la implementación de un carro ergonómico representa una oportunidad para optimizar la recolección de albahaca y ofrecer mejores condiciones laborales a los trabajadores.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar un carro ergonómico para la recolección de albahaca en NALPI Herbs S.A.S., que permita a los trabajadores sentarse mientras cosechan, protegerse del sol y transportar las neveras con mayor facilidad, mejorando así su comodidad y eficiencia en el proceso de cosecha. El diseño será evaluado teóricamente en función de principios ergonómicos y estructurales.

Objetivos Específicos

- 1 Analizar las condiciones actuales de recolección en NALPI Herbs, identificando los factores ergonómicos que afectan el bienestar de los trabajadores.
- 2 Investigar materiales y diseños adecuados para la construcción del carro, asegurando su resistencia, funcionalidad y facilidad de uso.
- 3 Diseñar un prototipo del carro ergonómico, considerando criterios de ergonomía, movilidad y eficiencia en la recolección.
- 4 Evaluar la viabilidad técnica y económica del diseño, estableciendo costos estimados y beneficios potenciales para la empresa y los trabajadores.
- 5 Proponer recomendaciones para la implementación del carro en el proceso de recolección, garantizando su integración efectiva en las actividades diarias del cultivo.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En NALPI Herbs S.A.S., empresa productora y exportadora de albahaca ubicada en Honda, Tolima, la recolección de la cosecha es un proceso manual que exige a los trabajadores permanecer agachados durante largas jornadas bajo el sol. Esta condición genera fatiga, incomodidad y un impacto negativo en su salud y productividad. Además, las neveras de icopor utilizadas para almacenar la albahaca cosechada deben ser trasladadas aproximadamente 20 metros desde el surco hasta el tren que las transporta a la zona de poscosecha, lo que aumenta el esfuerzo físico requerido.

Actualmente, en NALPI Herbs no se cuenta con una herramienta ergonómica que facilite el proceso de recolección y minimice la carga física sobre los trabajadores. Ante esta problemática, se plantea la necesidad de diseñar y construir un carro ergonómico que permita a los trabajadores sentarse mientras cosechan, protegerse del sol y transportar las neveras con mayor facilidad. Para ello, se considerarán criterios ergonómicos como altura ajustable del asiento, ángulo de inclinación adecuado, estructura liviana pero resistente, ruedas con buena movilidad en suelos agrícolas y un techo para sombra. Estos elementos garantizarán que el carro no solo reduzca el esfuerzo físico, sino que también se adapte a las condiciones de trabajo en el campo.

Para el desarrollo del proyecto, se analizarán las condiciones actuales de recolección, se evaluarán los factores ergonómicos involucrados y se determinará la viabilidad técnica y económica del diseño.

Preguntas de Investigación

- ¿Cuáles son los problemas ergonómicos identificados en la forma actual de cosechar la albahaca en la finca?
- ¿Cómo se puede diseñar y construir un carro ergonómico que reduzca el esfuerzo físico de los recolectores de albahaca en NALPI Herbs?
- ¿Qué materiales y estructuras garantizan la resistencia, estabilidad y facilidad de desplazamiento del carro en un entorno agrícola?
- ¿Cuál es el impacto esperado en la productividad y el bienestar de los trabajadores con la implementación de este carro?
- ¿Cuáles son las mejores prácticas de ergonomía y movilidad en el diseño de herramientas agrícolas similares?

JUSTIFICACIÓN

La recolección manual de albahaca en NALPI Herbs S.A.S. representa un desafío ergonómico significativo para los trabajadores, quienes deben permanecer en posiciones incómodas durante largas jornadas bajo el sol. Este esfuerzo continuo puede afectar su salud y productividad, generando condiciones laborales que no son óptimas. La implementación de un carro ergonómico busca proporcionar una solución práctica a esta problemática.

Este proyecto es relevante porque mejora las condiciones laborales y la eficiencia del proceso productivo. Al permitir que los trabajadores realicen su labor de manera más cómoda y con menor esfuerzo físico, se espera reducir la fatiga y el riesgo de lesiones, lo que contribuirá a un mejor desempeño y bienestar en el campo. Estudios han demostrado que la implementación de herramientas ergonómicas en la agricultura reduce significativamente la incidencia de trastornos musculoesqueléticos y aumenta la eficiencia en la producción (International Labour Organization, 2019; Moreno Díaz, 2023).

Desde una perspectiva técnica y económica, el diseño de este carro implica la selección de materiales adecuados y una estructura funcional que garantice durabilidad y facilidad de uso. Su desarrollo contribuirá no solo a la optimización del proceso de recolección en NALPI Herbs, sino que también puede servir como referencia para la implementación de soluciones similares en otras áreas de la agricultura. Además, su diseño deberá cumplir con normativas como la Ley 1562 de 2012 y la Resolución 0312 de 2019 en Colombia, así como con estándares internacionales como la ISO 11228-1:2021 sobre manipulación manual de cargas y la ISO 45001:2018 sobre seguridad y salud en el trabajo.

Este proyecto busca desarrollar un diseño ergonómico optimizado para la recolección de albahaca, asegurando que las especificaciones técnicas y estructurales mejoren las condiciones laborales de los trabajadores. La validación del diseño se realizará mediante un análisis comparativo con normativas y estudios ergonómicos previos.

ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Intención del Producto

El diseño del carro ergonómico para la recolección de albahaca en NALPI Herbs S.A.S. tiene como propósito mejorar las condiciones laborales de los trabajadores, minimizando el esfuerzo físico requerido durante la cosecha y el transporte de las neveras. Actualmente, los recolectores deben permanecer agachados por largos periodos bajo el sol, lo que genera fatiga y posibles afecciones musculoesqueléticas. Con este diseño, se busca proporcionar una alternativa ergonómica que permita a los trabajadores sentarse mientras cosechan, reducir el esfuerzo de transporte de las neveras y optimizar la eficiencia del proceso.

El carro tendrá un diseño que priorice la comodidad, la estabilidad y la facilidad de desplazamiento en terrenos agrícolas. Además, se espera que sea una solución de bajo costo y fácil fabricación, para que su implementación en el campo sea viable a futuro.

Verificación de Parámetros de Diseño

Para garantizar la funcionalidad y seguridad del carro, se han definido los siguientes parámetros de diseño:

- Dimensiones estimadas:
 - Largo: Aproximadamente 1.5 metros (para permitir el transporte eficiente de las neveras sin ocupar demasiado espacio en los surcos de cultivo).
 - Ancho: Entre 0.8 y 1 metro (para proporcionar estabilidad en terrenos irregulares).
 - Altura del asiento: Aproximadamente 50 cm (altura ergonómica para facilitar la movilidad del trabajador).

- Materiales propuestos:
 - Estructura principal: Acero liviano o aluminio reforzado, para garantizar resistencia sin añadir peso excesivo.
 - Asiento: Plástico resistente o acolchonado con espuma recubierta de vinilo, para proporcionar comodidad y resistencia a la intemperie.
 - Ruedas: Neumáticas con baja resistencia al rodamiento, para facilitar el empuje incluso con carga completa.
 - Techo: Lona resistente al sol con estructura ligera para brindar sombra sin comprometer la movilidad.
- Peso estimado:

Entre 15 y 20 kg, lo suficientemente liviano para ser maniobrable, pero con la resistencia adecuada para soportar la carga de las neveras y el trabajador.
- Capacidad de carga:
 - Peso del trabajador: 80 kg (en promedio).
 - Peso por nevera de icopor grande: 6 libras (≈ 2.72 kg).
 - Cantidad estimada de neveras transportadas: 6 unidades.
 - Carga total de neveras: $6 \times 2.72 \text{ kg} = 16.32 \text{ kg}$.
 - Carga total estimada del carro: 96.32 kg (80 kg del trabajador + 16.32 kg de neveras).
 - Capacidad de carga estimada: Al menos 100 kg, considerando el peso del trabajador y las neveras con albahaca.

Estimación de Características del Producto

- Movilidad y Maniobrabilidad:
 - El carro estará diseñado con ruedas de baja resistencia al rodamiento, lo que permitirá un fácil empuje incluso cuando esté completamente cargado.

- Se priorizarán materiales y un diseño de ruedas que reduzcan la fricción con el suelo agrícola, permitiendo un desplazamiento eficiente con el mínimo esfuerzo del trabajador.
- Se incluirá un sistema de bloqueo o freno manual en las ruedas para evitar deslizamientos involuntarios en terrenos con pendiente.
- Ergonomía y Seguridad:
 - El asiento será ajustable en altura para adaptarse a diferentes trabajadores y proporcionar una postura adecuada.
 - Se considerarán apoyabrazos o soportes ergonómicos para reducir la tensión en la espalda.
 - La estructura del carro se diseñará siguiendo normativas de ergonomía agrícola para minimizar el impacto en la salud del trabajador.
- Durabilidad y Mantenimiento:
 - Se seleccionarán materiales resistentes a la corrosión, humedad y cambios de temperatura.
 - Las ruedas y los mecanismos móviles estarán diseñados para un bajo mantenimiento y facilidad de reparación.

Protocolo de Manejo de Fallas y Contingencias

Para garantizar el correcto funcionamiento del carro ergonómico y prevenir interrupciones en el proceso de recolección, se establecerán protocolos de manejo de fallas y contingencias que aborden posibles situaciones adversas. Estos protocolos incluirán:

- Inspección Preventiva: Se implementarán rutinas periódicas de inspección para verificar el estado estructural del carro, incluyendo ruedas, asientos, ejes y la lona protectora. Esto permitirá detectar desgastes o posibles fallas antes de que afecten el rendimiento del equipo.

- Plan de Mantenimiento: Se desarrollará un cronograma de mantenimiento preventivo para la lubricación de partes móviles, ajuste de tornillos y limpieza de componentes críticos. El objetivo es extender la vida útil del carro y mantener su desempeño óptimo.
- Manejo de Fallas Comunes: Se definirán acciones inmediatas para fallas comunes, como la sustitución rápida de ruedas, ajuste del asiento o reposición de elementos dañados. También se capacitará a los operarios para identificar problemas y aplicar soluciones básicas de manera autónoma.
- Plan de Respuesta ante Emergencias: En caso de fallas graves que afecten la seguridad de los trabajadores o la continuidad de la recolección, se contará con un plan de contingencia que incluya la retirada temporal del equipo y su reemplazo por medios alternativos hasta la reparación.

Estos protocolos asegurarán que el carro ergonómico continúe operando de manera segura y eficiente en condiciones exigentes del entorno agrícola.

MARCO DE REFERENCIA

1. Fundamentación Teórica

Factores de Riesgo Ergonómicos en la Agricultura

El trabajo agrícola implica una serie de riesgos ergonómicos que pueden afectar la salud y productividad de los trabajadores. Según Moreno Díaz (2023), los principales riesgos identificados en la agricultura incluyen la carga estática y dinámica, el mantenimiento de posturas forzadas y los movimientos repetitivos. Estas condiciones pueden generar trastornos musculoesqueléticos, fatiga y una disminución del rendimiento laboral.

Diversos estudios han demostrado que la adaptación de equipos agrícolas para mejorar la postura y reducir la carga física puede disminuir significativamente la incidencia de lesiones musculoesqueléticas (International Labour Organization, 2019). En este sentido, el uso de herramientas ergonómicas diseñadas específicamente para la labor agrícola ha sido reconocido como una estrategia clave para mejorar la salud ocupacional en el sector.

El diseño de equipos agrícolas con criterios ergonómicos permite una mayor eficiencia en la recolección y reduce la carga física impuesta sobre los trabajadores. Investigaciones previas han identificado que los trastornos musculoesqueléticos afectan principalmente la zona lumbar, los hombros y las extremidades superiores, siendo la cosecha una de las actividades con mayor incidencia de estas afecciones (Varghese & Panicker, 2022). La implementación de soluciones ergonómicas, como asientos móviles y herramientas adaptadas, ha demostrado reducir la fatiga y mejorar el rendimiento de los trabajadores agrícolas. En este contexto, el desarrollo de un carro ergonómico representa una alternativa viable para optimizar las condiciones laborales en la recolección de albahaca, mitigando el impacto físico y mejorando la productividad del cultivo.

Aunque no se identificaron estudios específicos sobre la implementación de sillas móviles o carros ergonómicos en la agricultura, investigaciones como la de Ramírez Borda (2019) resaltan la

importancia de adoptar medidas ergonómicas para prevenir riesgos laborales en el sector agrícola. Este estudio, enfocado en el cultivo de flores, analiza cómo los movimientos repetitivos, posturas sostenidas y levantamiento de cargas generan trastornos musculoesqueléticos en los trabajadores. Los hallazgos sugieren que la adopción de herramientas y equipos adaptados a las necesidades del trabajador puede reducir significativamente la incidencia de lesiones y mejorar la productividad. Estos resultados respaldan la necesidad de incorporar soluciones ergonómicas, como el carro propuesto, para optimizar las condiciones laborales en la recolección de albahaca en NALPI Herbs S.A.S.

2. Normativa Aplicable en Colombia e Internacional

Para garantizar condiciones de trabajo seguras en la agricultura, es fundamental considerar las normativas existentes. En Colombia, las regulaciones más relevantes son:

Ley 1562 de 2012: Modifica el sistema de riesgos laborales e introduce medidas para la prevención de accidentes de trabajo y enfermedades laborales (Moreno Díaz, 2023).

Resolución 0312 de 2019: Define estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), estableciendo lineamientos para la prevención de riesgos en distintos sectores, incluyendo la agricultura.

Decreto 1072 de 2015: Establece disposiciones en materia de seguridad y salud en el trabajo, con exigencias específicas para empleadores y trabajadores del sector agrícola.

A nivel internacional, normas como la ISO 11228-1:2021 sobre manipulación manual de cargas y la ISO 45001:2018 sobre sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo proporcionan directrices clave para el diseño de herramientas ergonómicas en el sector agrícola.

3. Resumen Analítico Especializado (RAES)

Moreno Díaz (2023)

El estudio de Moreno Díaz (2023) analiza en profundidad los factores de riesgo ergonómicos en la agricultura colombiana, destacando cómo las condiciones laborales impactan la salud de los trabajadores. A través de encuestas y observaciones en el campo, el autor identifica que las posturas forzadas prolongadas, la carga estática y dinámica, y la manipulación manual de cargas pesadas son las principales causas de fatiga y lesiones musculoesqueléticas en el sector agrícola. Su investigación señala que el 79% de los trabajadores encuestados reportaron molestias en la espalda y extremidades inferiores debido a las condiciones de trabajo. Además, se destaca que la ausencia de herramientas ergonómicas adecuadas es un factor clave en el desarrollo de problemas físicos a largo plazo. Como solución, el estudio propone la implementación de equipos de asistencia ergonómica, como carros de recolección y sillas móviles, que reduzcan la sobrecarga física en los trabajadores. La relevancia de este estudio radica en que justifica la necesidad del desarrollo del carro de recolección de albahaca en NALPI Herbs S.A.S., con el fin de minimizar el impacto físico y mejorar la productividad laboral.

International Labour Organization (2019)

El informe de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2019) sobre seguridad y salud en la agricultura aborda los principales factores de riesgo en el sector agrícola y la importancia de la ergonomía para mitigar problemas de salud ocupacional. Según la OIT, la agricultura es una de las industrias más riesgosas debido a la exposición constante a posturas incómodas, manipulación de cargas pesadas y movimientos repetitivos. El documento enfatiza que la falta de intervenciones ergonómicas adecuadas ha resultado en un incremento de enfermedades laborales como trastornos musculoesqueléticos y fatiga crónica. La OIT recomienda el uso de equipos ergonómicos, la adaptación de herramientas al trabajador y la implementación de pausas activas para reducir el

impacto físico. En el contexto de este proyecto, estas recomendaciones respaldan el desarrollo del carro ergonómico para la recolección de albahaca, garantizando condiciones de trabajo más seguras y eficientes. La investigación demuestra que la introducción de diseños ergonómicos en la agricultura reduce el índice de lesiones laborales en más del 30% en sectores donde se han aplicado medidas de mejora.

Varghese y Panicker (2022)

Varghese y Panicker (2022) realizaron una revisión sistemática sobre el impacto de los trastornos musculoesqueléticos (TME) en diversas operaciones agrícolas. Su estudio abarcó 65 investigaciones en 18 países y evidenció que los TME afectan principalmente la zona lumbar (74%), seguida de los hombros (63%), muñecas/manos (62%) y cuello (57%). Los autores encontraron que las operaciones de cosecha representan el 48% de los casos en los que se han identificado estos trastornos, indicando una alta exigencia física en esta etapa del proceso agrícola. A pesar de las recomendaciones de soluciones ergonómicas en múltiples estudios, los autores destacan la escasez de investigaciones post-intervención que evalúen la efectividad de dichas soluciones en el tiempo. La revisión concluye que las herramientas ergonómicas pueden desempeñar un papel clave en la reducción de los TME en la agricultura y enfatiza la necesidad de estudios adicionales para evaluar su impacto a largo plazo. Este análisis es crucial para el presente proyecto, ya que refuerza la importancia de diseñar un carro ergonómico que minimice la carga física en los trabajadores durante la recolección de albahaca, alineándose con los hallazgos de la revisión sobre la prevalencia de TME en esta actividad agrícola.

ISO 11228-1:2021

La ISO 11228-1:2021 establece criterios de seguridad para la manipulación manual de cargas en sectores industriales y agrícolas. Esta norma define los límites de peso recomendados, la frecuencia de levantamiento, la distancia de carga y las posturas adecuadas para minimizar el riesgo de

lesiones musculoesqueléticas. Según la norma, los trabajadores no deben cargar pesos superiores a 25 kg de manera individual y repetitiva, y se deben evitar inclinaciones de tronco que superen los 60 grados para prevenir fatiga lumbar. En el contexto del carro de recolección de albahaca, esta norma proporciona criterios clave para determinar la capacidad máxima de carga, la altura óptima del asiento y la distribución del peso de las neveras de icopor. Además, la norma recomienda la integración de sistemas de ruedas de baja fricción para facilitar el desplazamiento de cargas pesadas en terrenos irregulares. La aplicación de estos estándares garantizará que el diseño del carro cumpla con parámetros internacionales de ergonomía, reduciendo la fatiga y mejorando la seguridad en la manipulación de las cosechas.

Ley 1562 de 2012 (Colombia)

La Ley 1562 de 2012 establece las bases para la prevención de riesgos laborales en Colombia, incluyendo la regulación de enfermedades profesionales y medidas de seguridad en el trabajo agrícola. La ley señala que los empleadores deben adoptar estrategias para minimizar la exposición a cargas físicas excesivas y mejorar las condiciones laborales a través de la implementación de soluciones ergonómicas. En el sector agrícola, la ley enfatiza la necesidad de equipos que reduzcan la carga muscular y prevengan lesiones en trabajadores expuestos a esfuerzos repetitivos. La aplicación de esta ley al proyecto del carro ergonómico de recolección de albahaca se justifica en la necesidad de adaptar el proceso de cosecha a regulaciones nacionales que buscan garantizar salud y bienestar en el trabajo rural. Además, este marco legal establece que toda actividad agrícola que implique manipulación manual de cargas debe ser evaluada bajo criterios de ergonomía, lo que refuerza la importancia del desarrollo de un carro diseñado específicamente para aliviar la carga física de los trabajadores de NALPI Herbs S.A.S.

Decreto 1072 de 2015 (Colombia)

El Decreto 1072 de 2015, que compila la normativa en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en Colombia, establece la obligación de realizar evaluaciones ergonómicas periódicas en actividades de alto riesgo como la agricultura. La norma estipula que las empresas deben identificar los factores de riesgo físico y biomecánico en sus operaciones y adoptar medidas de prevención, lo que aplica directamente a la recolección manual de albahaca. Para cumplir con este decreto, el diseño del carro ergonómico debe considerar elementos como ajustes en altura, materiales de bajo peso y facilidad de uso que permitan minimizar el esfuerzo físico de los recolectores. Además, el decreto indica que toda innovación tecnológica aplicada a la seguridad laboral debe ser documentada y evaluada para medir su impacto en la reducción de lesiones y fatiga. En este sentido, el proyecto del carro de recolección no solo mejora las condiciones laborales, sino que también permite que NALPI Herbs S.A.S. cumpla con la normativa vigente en prevención de riesgos ocupacionales en el sector agrícola.

ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

Restricciones Ambientales

El carro estará expuesto a condiciones climáticas adversas, como altas temperaturas y lluvias intensas, propias del clima de Honda. Por esta razón, los materiales utilizados deben ser resistentes a la corrosión y al desgaste, garantizando durabilidad a pesar de la exposición constante al ambiente. El uso de materiales metálicos sin protección anticorrosiva o plásticos de baja resistencia no es viable debido a su rápida degradación bajo estas condiciones climáticas. Además, el diseño debe considerar un bajo impacto ambiental, priorizando el uso de materiales reciclables o biodegradables siempre que sea posible. El empleo de materiales no reciclables o con altos niveles de contaminación durante su proceso de fabricación será evitado para minimizar el impacto ambiental del proyecto.

Restricciones Económicas

El proyecto cuenta con un presupuesto máximo de 5 millones de pesos colombianos por carro, lo que limita la selección de materiales y servicios técnicos. La selección de insumos debe enfocarse en opciones accesibles y duraderas, evitando materiales importados o de difícil acceso que incrementen el costo del proyecto. El uso de tecnologías avanzadas o componentes automatizados queda excluido debido a su costo elevado y la imposibilidad de ajustar el proyecto a los límites presupuestarios establecidos. También es importante evaluar la disponibilidad de proveedores cercanos para reducir los costos logísticos asociados al transporte de materiales.

Restricciones Legales

El diseño y construcción del carro debe cumplir con la normativa vigente en Colombia relacionada con seguridad industrial y salud en el trabajo. Las leyes aplicables incluyen la Ley 1562 de 2012, que regula el sistema de riesgos laborales, y el Decreto 1072 de 2015, que establece estándares para la seguridad y salud en el trabajo. También es necesario garantizar el cumplimiento de la Resolución 0312 de 2019, que define los estándares mínimos del SG-SST para asegurar condiciones

laborales seguras en el sector agrícola. No se contemplará la obtención de certificaciones industriales adicionales o la realización de procesos que requieran cumplimiento de normativas más estrictas aplicables a equipos mecanizados, ya que el carro estará destinado a un uso manual y de baja complejidad técnica.

Restricciones de Salud y Seguridad

La ergonomía del carro debe priorizar la comodidad y seguridad de los trabajadores. Es necesario minimizar los riesgos asociados a posturas forzadas, esfuerzo repetitivo y sobrecarga física durante la recolección. El diseño debe permitir que los trabajadores adopten posturas más cómodas, protegiéndose del sol y reduciendo la fatiga muscular. El uso de sistemas mecánicos complejos o dispositivos motorizados queda descartado, dado que podrían incrementar los riesgos operativos o requerir capacitación especializada para su uso. El sistema de carga de las neveras debe ser fácil de manipular para evitar lesiones por movimientos bruscos o levantamientos pesados.

Restricciones Técnicas

El carro debe cumplir con requerimientos técnicos que aseguren su funcionalidad y resistencia en condiciones de uso intensivo. Las ruedas deben facilitar el desplazamiento en terrenos agrícolas irregulares, mientras que el sistema de soporte debe ofrecer estabilidad para las neveras de icopor. La estructura debe ser liviana pero robusta para permitir su fácil transporte y garantizar estabilidad y seguridad durante su uso. No se contempla la realización de simulaciones computacionales avanzadas para evaluar la resistencia del diseño, ya que el análisis se basará en criterios mecánicos básicos y pruebas de campo. Además, el uso de materiales excesivamente pesados o frágiles queda descartado para evitar problemas de movilidad y durabilidad.

Restricciones Socioculturales

Es importante que el carro ergonómico se adapte a las condiciones socioculturales de los trabajadores de NALPI Herbs, quienes están acostumbrados a métodos tradicionales de recolección. El diseño debe ser intuitivo y fácil de utilizar para evitar la resistencia al cambio y asegurar una adopción efectiva. El uso de tecnologías que requieran formación extensa o que cambien radicalmente la dinámica del proceso de recolección será evitado para garantizar una transición natural hacia el uso del carro. También debe considerar aspectos culturales como la forma de trabajar en equipo y la dinámica de recolección para integrarse adecuadamente al proceso productivo.

Restricciones de Mantenimiento

El diseño del carro debe permitir un mantenimiento sencillo y económico, facilitando la limpieza, lubricación y posible reemplazo de componentes desgastados. Los materiales seleccionados deben garantizar una durabilidad adecuada para resistir el uso continuo en condiciones de campo. Se evitará el uso de componentes que requieran mantenimiento especializado o repuestos difíciles de conseguir, priorizando materiales de fácil mantenimiento y con disponibilidad local. Esto permitirá que el carro conserve su funcionalidad durante un período prolongado, minimizando los costos de reparación.

Restricciones de Portabilidad

El carro debe ser fácilmente transportado y almacenado cuando no esté en uso. Dado que el espacio en las áreas de trabajo puede ser limitado, es importante que el carro sea plegable o que pueda desmontarse parcialmente para ocupar menos espacio. El diseño no incluirá mecanismos complejos de plegado o desmontaje que encarezcan su construcción o dificulten su operación. La simplicidad en su almacenamiento facilitará su manejo y garantizará su protección cuando no esté siendo utilizado.

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Para el desarrollo del diseño del carro ergonómico, se implementó una metodología estructurada en fases que permitiera evaluar cada componente de forma independiente, pero bajo una lógica secuencial. El proceso inició con el análisis de requerimientos ergonómicos, técnicos y operativos del entorno agrícola, seguido por la identificación de restricciones clave del proyecto.

Posteriormente, se llevó a cabo la exploración de alternativas para cada uno de los elementos críticos del carro: estructura, silla, ruedas y techo. Finalmente, se seleccionó la opción más adecuada para cada componente con base en criterios técnicos, económicos y funcionales, lo que permitió consolidar una propuesta de diseño viable, práctica y ajustada a las condiciones reales del cultivo de albahaca en NALPI Herbs S.A.S.

Para garantizar la elección óptima de los componentes clave del carro ergonómico, se realizó un análisis comparativo considerando criterios técnicos, económicos, ergonómicos y ambientales. La metodología consistió en la identificación de alternativas viables, la evaluación de sus ventajas y desventajas, y la selección de la mejor opción para cada componente.

1. Selección del Tipo de Estructura

El tipo de estructura es crucial para garantizar la estabilidad y resistencia del carro durante la recolección. Se evaluaron tres alternativas principales:

- a. Acero galvanizado: Ofrece alta resistencia y durabilidad, pero incrementa el peso total del carro, lo que podría afectar la maniobrabilidad.
- b. Aluminio: Es ligero y resistente a la corrosión, lo que facilita su transporte y manejo, aunque su costo es más elevado.
- c. Tubos de PVC reforzados: Alternativa ligera y económica, pero menos resistente a impactos y condiciones climáticas extremas.

Restricciones consideradas:

- Restricción técnica: La estructura debe soportar el peso del trabajador y las neveras llenas de albahaca.
- Restricción económica: El costo de los materiales debe mantenerse dentro del presupuesto asignado.
- Restricción ambiental: La estructura debe resistir la humedad y la exposición al sol.

Alternativa seleccionada:

Se eligió acero galvanizado debido a su alta resistencia, durabilidad y capacidad para soportar condiciones adversas del entorno agrícola. A pesar de su mayor peso, ofrece una mayor estabilidad y menor riesgo de deterioro a largo plazo.

2. Selección del Tipo de Silla y Posición

La comodidad del trabajador durante la recolección es clave para reducir la fatiga y prevenir trastornos musculoesqueléticos. Se analizaron las siguientes opciones:

- a. Silla plástica fija: Económica y fácil de instalar, pero ofrece poca flexibilidad para ajustarse a diferentes posturas.
- b. Silla acolchada con ajuste de altura: Ofrece mayor comodidad y permite cambios de postura, aunque su costo es más elevado.
- c. Banco ergonómico con soporte lumbar: Proporciona una posición más natural para la recolección, pero puede ser menos práctico para maniobrar en terrenos irregulares.

Restricciones consideradas:

- Restricción ergonómica: La silla debe permitir una postura cómoda durante la jornada de trabajo.
- Restricción técnica: El asiento debe ser fácil de instalar y mantener en condiciones óptimas.
- Restricción económica: El costo debe mantenerse dentro del rango presupuestado.

Alternativa seleccionada:

Se optó por una silla acolchada con ajuste de altura, ya que permite adaptar la postura del trabajador a diferentes situaciones y reduce significativamente la fatiga durante la recolección.

3. Selección del Tipo de Llantas

El tipo de llantas influye directamente en la movilidad del carro en terrenos agrícolas. Se consideraron las siguientes alternativas:

- a. Llantas neumáticas de alta tracción: Ofrecen mayor estabilidad y capacidad para desplazarse en terrenos irregulares, pero requieren mantenimiento regular.
- b. Llantas macizas de poliuretano: No requieren mantenimiento y son resistentes al desgaste, pero ofrecen menos tracción en superficies blandas.
- c. Ruedas plásticas reforzadas: Son ligeras y económicas, pero menos duraderas y con menor capacidad de carga.

Restricciones consideradas:

- Restricción técnica: Las llantas deben garantizar un desplazamiento suave y seguro, incluso con carga máxima.
- Restricción económica: El costo debe ajustarse al presupuesto definido para el proyecto.

- Restricción ambiental: Las llantas deben ser resistentes a la humedad y al desgaste.

Alternativa seleccionada:

Se seleccionaron llantas neumáticas de alta tracción, ya que proporcionan mejor movilidad en terrenos agrícolas y ofrecen mayor estabilidad bajo condiciones de carga.

4. Selección del Techo para Proteger del Sol

Dado que los trabajadores permanecen expuestos al sol durante largas horas durante la recolección, es fundamental incorporar un techo que ofrezca protección adecuada sin afectar la movilidad o estabilidad del carro. Las opciones evaluadas fueron:

- a. Lona impermeable con protección UV: Ligera, económica y fácil de instalar, con alta capacidad para bloquear los rayos solares.
- b. Policarbonato translúcido: Material resistente y duradero que ofrece protección solar parcial, pero puede incrementar el peso total del carro.
- c. Tela convencional resistente: Una alternativa ligera y de bajo costo que proporciona sombra adecuada, pero puede deteriorarse más rápido con la exposición continua al sol y la humedad si no recibe tratamiento especial.

Restricciones consideradas:

- Restricción ambiental: El techo debe ser resistente a la exposición prolongada al sol y la humedad para evitar deterioro.
- Restricción económica: El material seleccionado debe mantenerse dentro del presupuesto disponible para no exceder los costos máximos establecidos.
- Restricción técnica: Debe ser liviano para no afectar la estabilidad del carro y permitir una instalación sencilla.

Alternativa seleccionada:

La lona impermeable con protección UV fue elegida por su ligereza, facilidad de instalación y bajo costo, además de garantizar una mayor durabilidad frente a las condiciones climáticas de la zona.

Aunque la tela convencional resistente presentaba un costo más bajo, su menor durabilidad y necesidad de reemplazo frecuente la hizo menos viable para este proyecto.

Como parte del cierre del proceso metodológico, se propone que en una etapa futura del proyecto se realicen pruebas funcionales del carro ergonómico en condiciones reales de trabajo en el cultivo de albahaca. Estas pruebas permitirán validar su funcionamiento, identificar mejoras necesarias y recoger directamente la opinión de los trabajadores. Con base en esa experiencia, se podrán hacer ajustes concretos que mejoren el desempeño del carro antes de ponerlo en uso permanente.

Durante el diseño del dispositivo se tuvieron en cuenta criterios ergonómicos establecidos por la norma ISO 11228-1 sobre manipulación manual de cargas. Se consideró una postura semisentada que evita flexiones excesivas del tronco, una altura de trabajo compatible con los rangos recomendados (entre 40 cm y 100 cm desde el suelo), y un peso máximo de carga que no excede los 15 kg por unidad, de acuerdo con los límites sugeridos para manipulación frecuente en jóvenes adultos. Estos lineamientos permitieron orientar el diseño hacia una solución que reduzca el esfuerzo físico, mejore la postura del trabajador y disminuya el riesgo de fatiga o lesiones musculoesqueléticas.

REPRESENTACIÓN VISUAL DEL DISEÑO PROPUESTO

Como parte del desarrollo del proyecto, se elaboró el diseño técnico del prototipo del carro ergonómico destinado a mejorar las condiciones de recolección de albahaca en NALPI Herbs S.A.S. Este diseño fue construido con base en el análisis de requerimientos, las restricciones identificadas y el proceso comparativo entre distintas alternativas estructurales y funcionales.

El modelo integra todos los elementos definidos en la etapa de diseño: una estructura metálica con dimensiones adaptadas al entorno de cultivo, una silla ergonómica ubicada sobre el eje posterior y orientada estratégicamente para facilitar la labor del operario, ruedas de gran tamaño compatibles con el terreno agrícola, y una cubierta superior que proporciona sombra durante la jornada laboral.

En las siguientes imágenes se presenta el diseño técnico en distintos ángulos y en contexto, lo cual permite visualizar la disposición de los componentes y evaluar su funcionalidad en condiciones reales de uso, como insumo previo a su construcción.

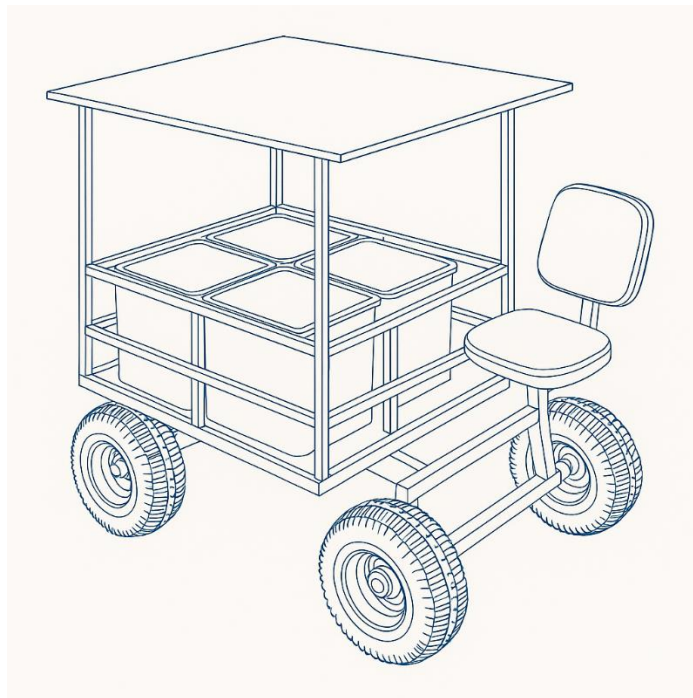


Figura 1. Vista Isométrica del carro.

Representación técnica del diseño del prototipo

La siguiente hoja presenta las vistas técnicas fundamentales del carro ergonómico diseñado para facilitar la recolección de albahaca en NALPI Herbs S.A.S. Estas ilustraciones permiten comprender de manera precisa las dimensiones, distribución de componentes y características estructurales del prototipo.

Vista Superior: Muestra la disposición general del carro vista desde arriba, incluyendo la ubicación de la silla en la parte trasera y las dimensiones del techo, que actúa como cubierta protectora contra el sol. Se evidencia que el diseño contempla un espacio interior suficiente para la colocación de seis neveras de icopor sin afectar la movilidad del operario.

Vista Lateral: Permite observar la altura total del prototipo (1.600 mm), así como la altura útil desde el nivel del suelo hasta la plataforma base (650 mm). Esta vista también evidencia la inclinación y posición de la silla, orientada para facilitar la operación de corte desde una postura cómoda. Las llantas se presentan alineadas y con proporciones suficientes para un desplazamiento óptimo sobre terrenos agrícolas.

Vista Frontal: Detalla la anchura total del carro (820 mm), la separación entre llantas y la ubicación central del asiento. Se indican alturas clave desde el suelo hasta los diferentes elementos del chasis, lo que asegura estabilidad y ergonomía. El techo tiene una cobertura de 760 mm, proporcionando sombra al operario y a las neveras.

Estas vistas fueron desarrolladas con proporciones basadas en los requerimientos técnicos definidos durante el análisis del proyecto y reflejan un diseño funcional, ergonómico y adaptable al entorno agrícola. Su elaboración facilita la comprensión del prototipo por parte de los operarios, técnicos constructores y personal administrativo de la empresa.

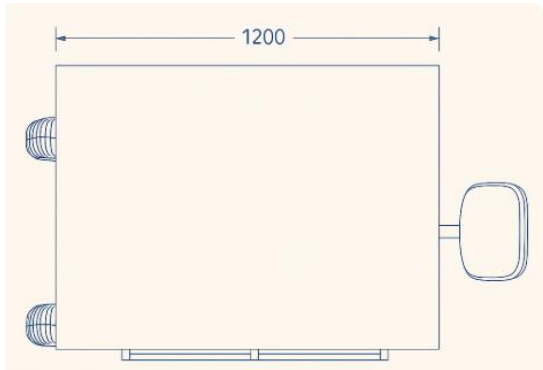


Figura 2. Vista Superior del carro

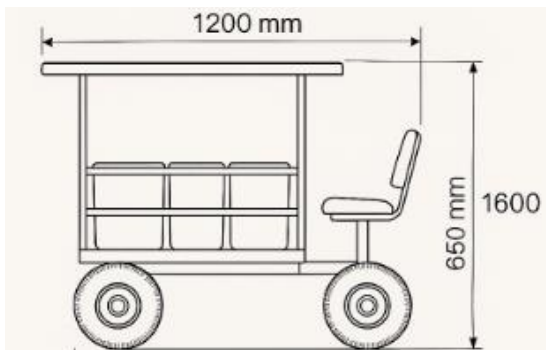


Figura 3. Vista Lateral del carro

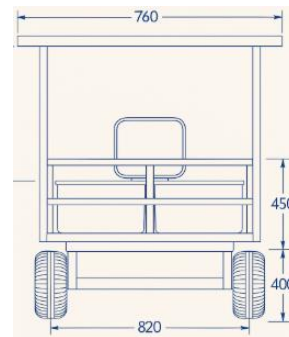


Figura 4. Vista Frontal del carro

La imagen presentada corresponde a un render ilustrativo del carro ergonómico diseñado para la recolección de albahaca en NALPI Herbs S.A.S. Esta representación gráfica permite visualizar la forma y disposición general del prototipo en su contexto de uso real, dentro del cultivo. El diseño incorpora elementos clave definidos en la etapa de análisis de requerimientos, como la silla ergonómica ubicada en la parte trasera del carro, las ruedas resistentes dispuestas para facilitar el desplazamiento en terrenos agrícolas, y el espacio destinado a la carga de hasta seis neveras de icopor con albahaca.

Esta visualización complementa los planos técnicos elaborados y apoya la comprensión general del funcionamiento del prototipo.



Figura 5. Render del carro

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL DISEÑO PROPUESTO

Costos Directos:

Los costos directos corresponden a aquellos elementos que están directamente asociados a la construcción del prototipo. En esta categoría se incluyen los materiales necesarios para fabricar el carro, la mano de obra que se requiere para su ensamblaje, así como algunos servicios específicos como soldadura y pintura. Estos valores fueron estimados con base en cotizaciones informales realizadas en ferreterías, distribuidores locales y talleres de la región de Honda, Tolima. A continuación, se presenta el desglose de los costos considerados:

Concepto	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Estructura en Tubo Metálico	6 m	\$25.000	\$150.000
Ruedas neumáticas reforzadas	4	\$90.000	\$360.000
Silla ergonómica	1	\$120.000	\$120.000
Techo (Lona Impermeable)	1.5 m ²	\$35.000	\$52.500
Tornillería y Herrajes	1 lote	\$60.000	\$60.000
Pintura Antioxidante y brochas	1 Kit	\$45.000	\$45.000
Mano de Obra		\$300.000	\$300.000

TOTAL 1'087.500

Costos Indirectos

Además de los costos directos vinculados a la adquisición de materiales principales para el diseño del carro ergonómico, es fundamental considerar una serie de costos indirectos que, aunque no están directamente involucrados en la construcción del producto, son necesarios para llevar a cabo su ejecución.

Entre estos costos se incluyen los gastos asociados al transporte de los materiales hasta la finca, la adquisición de herramientas menores necesarias para medición y ajustes, la contratación de servicios técnicos especializados como corte y soldadura, así como gastos administrativos básicos.

También se ha contemplado un margen de contingencia correspondiente al 5% del valor de los costos directos, con el objetivo de prever cualquier imprevisto que pueda surgir durante el desarrollo del proyecto.

Concepto	Costo
Transporte de Materiales a la finca	\$150.000
Herramientas menores	\$80.000
Servicios de soldadura y corte	\$250.000
Gastos Administrativos	\$50.000
Contingencias	\$54.375

Total costos indirectos \$584.375

Capital de Trabajo

En el capital de trabajo se tienen en cuenta los recursos mínimos necesarios para garantizar la ejecución efectiva del proyecto, especialmente en lo relacionado con la mano de obra y la gestión operativa durante la fase de construcción del carro ergonómico. Aunque el prototipo no contempla una línea de producción continua, se requiere personal capacitado para el montaje, ajustes y prueba del equipo.

En este caso, el capital de trabajo está representado por los honorarios del personal que se encargará de las labores de ensamble, pruebas funcionales básicas y ajustes técnicos del carro. Se estima un equipo conformado por dos operarios con conocimientos en estructuras metálicas, remunerados por jornadas específicas, además de un encargado del seguimiento técnico del proyecto. Este capital de trabajo asegura que el prototipo pueda desarrollarse de forma organizada, controlada y en condiciones técnicas adecuadas.

Costos Fijos

En el desarrollo de este proyecto, no se contemplan costos fijos debido a la naturaleza misma de la iniciativa. El prototipo será construido directamente en las instalaciones de la finca, por lo cual no se incurrirá en costos de alquiler, servicios públicos adicionales, ni honorarios administrativos.

Además, todos los trabajos de soldadura y fabricación ya incluyen los consumos energéticos dentro del valor pactado con el proveedor del servicio. Tampoco se requieren permisos, licencias ni seguros adicionales para llevar a cabo esta actividad, y el proyecto será ejecutado directamente por los involucrados sin la necesidad de personal de supervisión o dirección externa. Por estas razones, se concluye que no existen costos fijos asociados al diseño y construcción del carro ergonómico.

Inversión Total Estimada

El costo total actual del diseño y construcción del prototipo del carro ergonómico asciende a \$1.671.875 COP, resultado de la suma de los costos directos, costos indirectos y capital de trabajo asociados al proyecto. Sin embargo, dado que la fase de construcción podría llevarse a cabo a principios del próximo año, se ha considerado pertinente realizar una proyección ajustada al comportamiento económico reciente.

Para este cálculo se consideró un ajuste por inflación equivalente al 9,85%, correspondiente al Índice de Precios al Consumidor (IPC) promedio reportado por el DANE para Colombia durante los últimos tres años. Esta medida tiene como objetivo garantizar la viabilidad económica del proyecto en caso de que su ejecución se postergue, permitiendo anticipar los posibles aumentos en los precios de materiales y servicios incluso si se decide comenzar hasta el próximo año.

Con base en esta proyección, el valor ajustado de la inversión asciende a aproximadamente \$1.837.738 COP, lo que representa el presupuesto recomendado para garantizar la ejecución del proyecto en condiciones económicas futuras. A pesar de este ajuste, el proyecto se mantiene dentro de los límites presupuestales establecidos por la empresa, lo que confirma su viabilidad tanto desde el punto de vista técnico y ergonómico como desde el económico y operativo.

Rentabilidad esperada y análisis del retorno de la inversión

Con el propósito de brindar una visión completa del desempeño económico del proyecto, se incluye

a continuación una estimación de la rentabilidad esperada y una aproximación al cálculo de la tasa

de retorno. Este análisis complementa la evaluación técnica y permite valorar tanto los beneficios financieros como el impacto en las condiciones laborales de los trabajadores.

Justificación del Incremento de Productividad

El diseño del carro ergonómico permite al trabajador mantenerse sentado bajo sombra, evitando la fatiga física asociada a la postura inclinada prolongada y la exposición directa al sol durante las largas jornadas de cosecha. Esta mejora en las condiciones laborales tiene un impacto directo en la eficiencia, al reducir los tiempos muertos por descanso y facilitar la manipulación de la nevera, que ahora puede colocarse en el dispositivo en lugar de en el suelo.

Según información levantada en campo, se identificó que actualmente un cortador cosecha en promedio 5,4 neveras por día, con un volumen estimado de 13 libras por nevera, lo que equivale a 70,2 libras diarias. Con el uso del dispositivo propuesto, se estima un aumento en la productividad de al menos 1,2 neveras adicionales por día, lo que representa un incremento aproximado de 15,6 libras más por trabajador diariamente.

Cálculo de la Facturación Adicional

Considerando que cada libra de albahaca se vende a USD \$1,55, y que se proyecta un incremento diario de 15,6 libras por trabajador gracias al uso del dispositivo, el ingreso adicional bruto diario sería:

$$15,6 \text{ libras/día} \times \$1,55 = \$24,18 \text{ diarios}$$

Al proyectar esta cifra para un mes con 26 días de trabajo, se obtiene:

$$\$24,18 \times 26 \text{ días} = \$628,68 \text{ mensuales}$$

$$\$628,68 \times 12 \text{ meses} = \$7.544,16 \text{ anuales}$$

Sin embargo, este valor no representa una utilidad neta, ya que aproximadamente el 70% del precio de venta corresponde a costos directos e indirectos de producción. Por tanto, solo el 30% se considera utilidad bruta real sobre la cual evaluar la rentabilidad del dispositivo.

Aplicando este porcentaje:

$\$7.544,16 \times 0,30 = \$2.263,25$ de ganancia neta anual atribuible al incremento en productividad por trabajador.

Comparación con el Costo del Dispositivo

El costo estimado de fabricación e implementación de cada carro ergonómico es de USD \$450, incluyendo estructura metálica, ruedas, lona, elementos de fijación y mano de obra de ensamble.

Con base en estos valores, se calcula el Retorno sobre la Inversión (ROI), definido como la ganancia neta generada en relación con la inversión inicial, multiplicado por 100, en línea con lo propuesto por Ross, Westerfield y Jordan como uno de los criterios fundamentales para evaluar decisiones de inversión (Ross, Westerfield & Jordan, 2021)

$$ROI = \left(\frac{\text{Utilidad neta anual} - \text{Costo del Dispositivo}}{\text{Costo del Dispositivo}} \right) \times 100$$

$$ROI = \left(\frac{2263,25 - 450}{450} \right) \times 100 = 402,84\%$$

Este resultado muestra un escenario favorable en términos de rentabilidad, con una recuperación rápida de la inversión y una utilidad neta que justifica ampliamente la implementación del dispositivo, incluso en condiciones conservadoras de estimación.

Tasa de Retorno Mínima Aceptada (TRMA)

Para complementar el análisis de rentabilidad del proyecto, se adopta una tasa de retorno mínima aceptada (TRMA) basada en el enfoque de retorno requerido propuesto por Ross, Westerfield y Jordan (2021), en el cual se establece que el rendimiento esperado de una inversión debe estar en función del riesgo que implica: a mayor riesgo, mayor debe ser el retorno exigido.

En este caso, se considera una tasa libre de riesgo del 10%, correspondiente al rendimiento promedio de un CDT tradicional en Colombia, y se le adiciona una prima de riesgo del 10% por

tratarse de un proyecto agrícola con variabilidad operativa moderada. Así, se define una TRMA del 20% anual como umbral razonable para evaluar la conveniencia de la inversión.

Al comparar esta tasa con el retorno estimado del proyecto (402,94%), se concluye que la rentabilidad esperada supera ampliamente los requisitos mínimos, respaldando su viabilidad económica.

Análisis de sensibilidad del retorno de la inversión

Con el fin de valorar el impacto de distintos factores sobre la viabilidad económica del proyecto, se simularon cuatro escenarios realistas que podrían presentarse durante la implementación del dispositivo. Estos escenarios consideran variaciones en la productividad esperada del trabajador y en los costos de fabricación.

Escenario 1: Productividad inferior a la estimada

Si el trabajador no alcanza a llenar 1,2 neveras adicionales por día, sino únicamente 0,8 (equivalente a 10,4 libras más por jornada), el ingreso adicional mensual sería de USD \$419,23, lo que proyecta una utilidad neta anual de aproximadamente USD \$1.507,21. El nuevo ROI sería:

$$ROI = \left(\frac{1507,21 - 450}{450} \right) \times 100 = 234,93\%$$

Conclusión: Aun con una mejora más modesta en la productividad, el proyecto sigue siendo altamente rentable y se mantiene dentro de un margen atractivo para su implementación.

Escenario 2: Aumento del 20% en el costo del dispositivo

Si el costo del carro se incrementa de USD \$450 a USD \$540, manteniendo la productividad adicional proyectada inicialmente (15,6 libras diarias), la utilidad neta anual continúa siendo de USD \$2.263,25, y el ROI ajustado sería:

$$ROI = \left(\frac{2263,25 - 540}{540} \right) \times 100 = 319,12\%$$

Conclusión: Incluso con un aumento significativo en el costo de fabricación, el dispositivo conserva un retorno financiero atractivo, lo que reafirma su viabilidad económica.

Escenario 3: Menor productividad y aumento de costos

Este escenario combina los dos anteriores. Si el trabajador logra solo 0,8 neveras adicionales por día y el costo del dispositivo aumenta un 20%, la utilidad neta anual se reduce a USD \$1.507,21 y el nuevo costo es USD \$540. El ROI en este caso sería:

$$ROI = \left(\frac{1507,21 - 540}{540} \right) \times 100 = 179,11\%$$

Conclusión: A pesar de enfrentar condiciones menos favorables en ambas variables, el proyecto aún genera una rentabilidad superior a la tasa mínima de retorno aceptada (20%), por lo que su implementación sigue siendo justificable.

Escenario 4: Impacto negativo en la productividad

En un escenario desfavorable, el uso del dispositivo podría reducir la productividad del trabajador en 0,5 neveras por día, por falta de adaptación o condiciones imprevistas del terreno. Esta disminución equivale a 6,5 libras menos por jornada, lo que representa una caída diaria en la facturación de USD \$10,08. Proyectado al año, esto se traduce en una reducción de USD \$3.144,96 en ingresos brutos. Considerando que solo el 30% del precio de venta representa utilidad neta, la reducción real de utilidad anual sería de USD \$943,49. Si a esto se suma el costo del dispositivo (USD \$450), el impacto económico total en este escenario sería de USD \$1.393,49.

Conclusión: Aunque este escenario refleja una disminución en la utilidad y no una pérdida neta, el impacto económico sigue siendo moderado. Además, el valor del intento de innovación se sostiene por el objetivo superior de mejorar las condiciones laborales. Apostar por el bienestar del personal es una decisión coherente con una visión de responsabilidad social y sostenibilidad, aun cuando los resultados productivos no sean los esperados de manera inmediata.

Consideraciones No Monetarias

Más allá del componente económico, la implementación del dispositivo también representa una mejora significativa en las condiciones laborales de los trabajadores. Al reducir la carga física, proteger del sol y facilitar la manipulación de la cosecha, se contribuye al bienestar general del personal y a la prevención de lesiones musculares. Estos beneficios, aunque no se traduzcan directamente en cifras, aportan valor al proyecto en términos de sostenibilidad social y desempeño organizacional.

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

El desarrollo e implementación del carro ergonómico para la recolección de albahaca en NALPI Herbs S.A.S. se plantea en una secuencia de etapas que garantice el cumplimiento de los requerimientos técnicos, ergonómicos y económicos establecidos. A continuación, se describe el plan de implementación, detallando las fases, duración estimada y responsables implicados:

Fase 1: Preparación del entorno de trabajo

Antes de iniciar la construcción, se adecuará el espacio del taller disponible en la finca. Se organizarán las herramientas, se verificará la disponibilidad de materiales y se coordinará la contratación de los servicios de soldadura, corte y ensamble requeridos.

Responsable: Supervisor de operaciones de NALPI Herbs.

Recursos necesarios: Herramientas básicas, espacio en el taller, verificación de lista de materiales.

Fase 2: Adquisición de materiales

Se procederá con la compra de los insumos seleccionados en el análisis económico, priorizando proveedores locales que ofrezcan precios competitivos. Esta etapa debe garantizar la entrega completa de todos los componentes necesarios para evitar interrupciones.

Responsable: Encargado de compras de NALPI Herbs.

Consideraciones: Revisión de calidad y cumplimiento de especificaciones técnicas.

Fase 3: Construcción del prototipo

Durante esta fase, se realizará el ensamblaje del carro ergonómico, siguiendo el diseño propuesto. Las tareas incluyen corte, soldadura, ensamble estructural, instalación de la silla, ruedas y cubierta superior.

Responsable: Maestro soldador y equipo de apoyo.

Actividades: Supervisión técnica para garantizar alineación con el diseño.

Fase 4: Validación en campo

Una vez construido el prototipo, se realizará una prueba funcional en condiciones reales de recolección en los cultivos de albahaca. Se evaluará la estabilidad, maniobrabilidad, comodidad para el operario y capacidad de carga.

Responsable: Ingeniero supervisor del proyecto y operario asignado.

Resultado esperado: Validación de que el prototipo cumple con los objetivos del diseño.

Fase 5: Ajustes finales

Con base en la retroalimentación obtenida durante la validación, se realizarán ajustes menores que mejoren el desempeño o la comodidad del dispositivo sin comprometer los costos ni la funcionalidad.

Responsable: Equipo técnico asignado al prototipo.

Ejemplos de ajustes: Modificación de posición de la silla, nivelación de ruedas, refuerzos estructurales.

Conclusiones

El proyecto desarrollado permitió integrar soluciones técnicas, ergonómicas y económicas en una propuesta viable para mejorar el proceso de recolección de albahaca en la finca NALPI Herbs

S.A.S. A continuación, se presentan las principales conclusiones derivadas del análisis realizado:

1. El diseño del carro ergonómico representa una respuesta concreta y funcional a las condiciones actuales del proceso de recolección de albahaca en NALPI Herbs S.A.S. Su planteamiento permite reducir el esfuerzo físico de los trabajadores y mejorar su bienestar durante las jornadas de trabajo, cumpliendo con el propósito general del proyecto.
2. El análisis realizado permitió identificar con claridad los factores que afectan la salud y el desempeño del personal de campo. A partir de esa comprensión, se tomó una dirección clara en el diseño, priorizando soluciones prácticas como el uso de asiento, cubierta de sombra y un soporte que facilite el transporte de las neveras.
3. La elección de materiales y la configuración del dispositivo mostraron coherencia con el entorno operativo del cultivo. Se logró combinar facilidad de uso, resistencia y bajo costo, abordando adecuadamente los criterios definidos para la selección técnica del diseño y considerando también la viabilidad práctica en campo.
4. Desde el punto de vista económico, se obtuvo un resultado favorable. La comparación entre el costo de fabricación y la utilidad proyectada por trabajador muestra que el proyecto tiene un retorno sobre la inversión suficientemente alto como para justificar su fabricación y puesta en marcha. Además, se evaluaron escenarios diversos, lo cual fortalece la confianza en su rentabilidad.
5. Incluir una fase de prueba en campo permite validar el diseño en condiciones reales y realizar los ajustes necesarios antes de una implementación a mayor escala. Esta propuesta de implementación progresiva responde a la necesidad de facilitar la integración del carro ergonómico dentro de las dinámicas de la finca.

6. A lo largo del desarrollo, la metodología utilizada combinó el análisis observacional con criterios técnicos de diseño, lo que permitió construir una propuesta alineada con la realidad operativa del cultivo. Si bien la validación en campo no hizo parte de los objetivos de esta etapa, el proceso se apoyó en datos reales, permitiendo cumplir con los objetivos propuestos desde una perspectiva funcional y contextualizada.
7. Además de sus beneficios operativos, este proyecto deja un precedente importante para el diseño de soluciones ergonómicas aplicadas al sector agrícola. La experiencia obtenida durante su formulación puede orientar futuros desarrollos enfocados en optimizar tareas repetitivas, reducir riesgos físicos y fomentar entornos laborales más saludables en fincas especializadas en cultivos como la albahaca.
8. Si bien el diseño propuesto del carro ergonómico fue desarrollado con base en las condiciones reales de la finca y en análisis funcionales, el proyecto presenta algunas limitaciones. La más relevante es que no se ha realizado aún una prueba física en condiciones reales de uso, por lo que los datos proyectados sobre productividad y retorno de la inversión parten de estimaciones teóricas. Asimismo, el diseño puede requerir ajustes según el tipo de terreno o las características físicas de los trabajadores.
9. Una vez validado el diseño en condiciones reales de trabajo, se espera que el dispositivo pueda implementarse de manera progresiva en los distintos lotes de recolección de la finca, ajustando detalles operativos según las observaciones del personal en campo. Esta experiencia también podrá servir como punto de partida para el desarrollo de otras herramientas que mejoren los procesos manuales asociados a la producción de albahaca.
10. Finalmente, se concluye que el proyecto alcanzó los objetivos planteados desde su formulación. Ofrece una solución viable y adaptable que mejora las condiciones de

trabajo, incrementa la eficiencia del proceso de cosecha y establece una base sólida para futuras innovaciones técnicas en la empresa.

Aporte del proyecto al desarrollo sostenible

El diseño del carro ergonómico desarrollado en este proyecto contribuye de manera concreta a los principios del desarrollo sostenible, integrando beneficios sociales, económicos y ambientales dentro de una solución funcional para el entorno agrícola.

Desde lo social, el dispositivo representa un avance significativo en la mejora de las condiciones laborales del personal de cosecha. Al permitir que el trabajador permanezca sentado, bajo sombra, y evite posturas forzadas, se reduce el riesgo de lesiones físicas, se favorece la comodidad durante la jornada y se reconoce el valor del trabajo agrícola en condiciones dignas.

En el aspecto económico, el proyecto busca optimizar los recursos disponibles a través del uso de materiales de bajo costo y fácil acceso, incluyendo opciones reciclables. La relación entre inversión y productividad proyectada demuestra que es posible implementar mejoras ergonómicas sin comprometer la viabilidad financiera de la operación.

En términos ambientales, el diseño fue planteado para evitar el consumo de energía, minimizar el uso de materiales contaminantes y facilitar su reparación y mantenimiento a largo plazo. Esto permite una implementación más sostenible, tanto en su fabricación como en su operación diaria.

Más allá de resolver un problema puntual, esta propuesta refleja una intención de avanzar hacia una agricultura más responsable, en la que se combine eficiencia operativa con bienestar humano y cuidado del entorno.

Discusión de los resultados

Al revisar el desarrollo del proyecto, es verificable que los objetivos planteados al inicio fueron abordados de forma coherente con la realidad del contexto productivo. El objetivo principal de diseñar un carro ergonómico que ofreciera al trabajador mayor comodidad durante la cosecha se convirtió en una solución estructurada que combina un asiento funcional, techo incorporado y facilidad para movilizar las neveras utilizadas en la recolección.

Uno de los primeros pasos fue entender a fondo las condiciones reales de trabajo. A partir de allí, se logró identificar que el mayor desgaste físico se genera al permanecer agachado durante largos periodos y al cargar manualmente las neveras, una actividad repetitiva que afecta la postura y eleva el riesgo de lesiones. En respuesta a esto, se logró diseñar un prototipo orientado a reducir estas exigencias físicas. El análisis consideró principios ergonómicos respaldados por normas internacionales (como la ISO 11228-1) y se complementó con observaciones directas en campo. Esta combinación fue clave para asegurar que el diseño se ajustara a las necesidades identificadas.

Los análisis de costos permitieron estimar una inversión razonable para su implementación. No se incluyeron costos fijos ni capital de trabajo, dado que se trata de un proyecto de diseño y no de una operación comercial. Esta decisión fue explicada en el documento y es acorde con el alcance propuesto.

Este trabajo permitió abordar una necesidad concreta con criterios técnicos y prácticos, resultando en una propuesta viable tanto para reducir las exigencias físicas del trabajador como mejoras en productividad.

REFERENCIAS

- **Abrahão, J., Ribeiro, F., & Tereso, M. (2012).** Elementos da carga de trabalho na horticultura orgânica. *Revista Brasileira de Ergonomia*, 14(2), 45-60.
- **Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2024).** *Índice de Precios al Consumidor (IPC) – Año 2023*. <https://www.dane.gov.co>
- **Fathallah, F. A. (2010).** Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture. *Applied Ergonomics*, 41(5), 738-743.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687010000487?>
- **International Labour Organization. (2001).** Safety and health in agriculture. Geneva: OIT. <https://webapps.ilo.org/public/english/standards/relm/ilc/ilc89/pdf/rep-iv-1.pdf>
- **ISO 11228-1:2021. (2021).** Ergonomics – Manual handling – Part 1: Lifting, lowering and carrying. International Organization for Standardization.
- **ISO 45001:2018. (2018).** Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.
- **Ley 1562 de 2012 (Colombia). (2012).** Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de Salud Ocupacional. Congreso de la República de Colombia. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48365>
- **Decreto 1072 de 2015 (Colombia). (2015).** Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Ministerio del Trabajo, República de Colombia. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>

- **Moreno Díaz, P. A. (2023).** Análisis de la herramienta de medición del riesgo ergonómico en la agricultura colombiana. *Revista de Seguridad y Salud en el Trabajo*, 15(3), 25-40.
- **Varghese, A., & Panicker, V. V. (2022).** Impact of musculoskeletal disorders on various agricultural operations: a systematic review. *Sādhanā*, 47(46)
- **OSHA – Occupational Safety and Health Administration. (2020).** Ergonomics applied to agriculture: Best practices for reducing risk. U.S. Department of Labor. Recuperado de <https://www.osha.gov/ergonomics/agriculture>
- **Ramírez Borda, J. K. (2019).** *Factores de riesgo ergonómicos en labores de cultivo de flor*. Monografía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Recuperado de <https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/5452d031-5d6d-4e9e-ae88-ce5a0fe6194e/content>
- **Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jordan, B. D. (2021).** *Fundamentals of corporate finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.