



LIDERA: Lineamientos para el Diseño Ergonómico en la Recolección de Algodón



ROSA MARÍA AREIZA SALAZAR

Monteria-Cordoba

Contenido

LIDERA: Lineamientos para el Diseño Ergonómico en la Recolección de Algodón.....	3
Características de los lineamientos.....	4
Referencias metodológicas.....	4
Integración del enfoque ergonómico.....	5
Alcance de los lineamientos.....	5
Integración metodológica.....	6
Organización de los lineamientos.....	7
Nota aclaratoria sobre los recursos visuales.....	9
Lineamientos antropométricos.....	10
Referentes metodológicos para la formulación de los lineamientos antropométricos.....	10
LA1. Adaptabilidad antropométrica del dispositivo.....	12
LA2. Adecuación de la altura de trabajo del dispositivo.....	13
LA 3. Adecuación del espacio de trabajo del dispositivo.....	14
LA4. Ubicación ergonómica de los elementos de control y manipulación.....	15
LA5. Ubicación de los elementos dentro del alcance funcional del usuario.....	16
LA6. Diseño ergonómico del sistema de agarre.....	17
LA7. Diseño del sistema de ajuste del dispositivo.....	18
Fundamento de los lineamientos antropométricos.....	19
Lineamientos biomecánicos.....	22
Referentes metodológicos para la formulación de los lineamientos biomecánicos.....	22
LB1. Postura del tronco y cuello.....	23
LB2. Postura neutra del miembro superior (brazo, antebrazo y muñeca).....	24
LB3. Reducción de movimientos repetitivos y sobreesfuerzo del miembro superior.....	25
LB4. Postura estable y reducción de carga biomecánica en miembros inferiores.....	26
LB5. Reducción de fuerza de empuje y arrastre del dispositivo.....	27
LB6. Distribución simétrica de cargas durante el uso del dispositivo.....	28
LB7. Reducción de vibración mecánica e impactos transmitidos al usuario.....	29
Fundamento de los lineamientos biomecánicos.....	30
Lineamientos de funcionalidad (LF).....	31
Referentes metodológicos utilizados en la formulación de los lineamientos de funcionalidad.....	31
LF1. Funcionalidad general del dispositivo.....	32
LF2. Versatilidad del dispositivo.....	32
LF3. Resistencia del dispositivo.....	33
LF4. Durabilidad del dispositivo.....	33
LF5. Mantenimiento preventivo del dispositivo.....	34

LF6. Acabados del dispositivo.....	35
LF7. Estabilidad del dispositivo.....	35
LF8. Sistema de pesaje y registro de la producción recolectada.....	36
Fundamento de los lineamientos de funcionalidad.....	37
Lineamientos de usabilidad (LU).....	38
Referentes metodológicos para formulación de los lineamientos de usabilidad	38
LU1. Facilidad de uso del dispositivo	39
LU2. Eficiencia en la ejecución de la tarea.....	39
LU3. Seguridad y adaptabilidad funcional del dispositivo	40
LU4. Interacción usuario–producto	40
LU5. Confort de uso del dispositivo.....	41
LU6. Transportabilidad del dispositivo.....	41
Fundamento de los lineamientos de usabilidad.....	42
Lineamientos de materiales (LM).....	43
Referentes metodológicos para la formulación de los lineamientos de materiales	43
LM1. Peso del dispositivo	44
LM2. Resistencia de los materiales.....	44
LM3. Durabilidad de los materiales	45
LM4. Sostenibilidad de los materiales.....	45
LM5. Costo de los materiales.....	46
LM6. Seguridad de los materiales.....	46
Fundamento de los lineamientos de materiales	48
Aporte e integración de los lineamientos ergonómicos	48
Agradecimientos	49

Las representaciones gráficas incluidas en estos lineamientos fueron generadas mediante herramientas de inteligencia artificial (ChatGPT), a partir de descripciones técnicas elaboradas en función de los criterios ergonómicos definidos en el estudio. Su finalidad es facilitar la comprensión de los lineamientos, mediante la comparación entre condiciones inadecuadas y soluciones de diseño propuestas.

LIDERA: Lineamientos para el Diseño Ergonómico en la Recolección de Algodón

Los lineamientos ergonómicos desarrollados orientan al diseño de un dispositivo asistido para la recolección manual de algodón, con la intención de disminuir la carga física del trabajador, sin reemplazar su participación en el proceso productivo.

En este sentido, los lineamientos constituyen una herramienta operativa que integra criterios ergonómicos, funcionales, de usabilidad y de materiales, orientados a facilitar la toma de decisiones durante el proceso de diseño del dispositivo. Su formulación se responde a resultados obtenidos en el análisis ergonómico de la actividad, el estudio de soluciones existentes y la definición de los criterios técnicos de diseño.

A pesar de que los lineamientos se basan en un enfoque ergonómico integral, el presente estudio hace énfasis especial en la ergonomía física, ya que su objetivo principal es reducir la carga física del trabajador durante la recolección manual de algodón. También se incluyen criterios de usabilidad, funcionalidad, selección de materiales, los siete principios del **diseño universal (DU)** y **buenas prácticas agrícolas (BPA)**, con el objetivo de obtener soluciones seguras, comprensibles, eficientes y adaptadas a las condiciones reales del contexto agrícola.

Características de los lineamientos

Los lineamientos formulados en el presente estudio presentan características que los diferencian de propuestas convencionales, al integrar elementos de estructuración, de aplicación y claridad técnica orientados a su uso en contextos reales de diseño.

En este sentido, los lineamientos se caracterizan por:

- **Estructurados:** al derivarse de la integración de los hallazgos obtenidos en las fases de caracterización de la carga física, análisis de soluciones existentes y formulación de criterios técnicos, garantizando coherencia con la problemática abordada.
- **Aplicables:** al incorporar guías de diseño que facilitan su implementación en el desarrollo de dispositivos asistidos en contextos reales de trabajo.
- **Claros:** al presentar criterios comprensibles que orientan tanto el diseño como la interpretación de las condiciones de uso del dispositivo.
- **Sistémicos:** al considerarse como un conjunto articulado de lineamientos que no deben aplicarse de manera aislada, sino de forma conjunta, permitiendo una visión integral del diseño ergonómico.

Referencias metodológicas

La formulación de los lineamientos se apoya en los **Ergonomic Checkpoints in Agriculture de la Organización Internacional del Trabajo (OIT)**, los cuales establecen un enfoque práctico, aplicable y orientado a la mejora de las condiciones de trabajo en el sector agrícola.

A partir de este referente, se realizó una adaptación al contexto específico del diseño de dispositivos asistidos para la recolección manual de algodón, incorporando criterios ergonómicos, funcionales y de interacción que permitan orientar el desarrollo de soluciones enfocadas en la reducción de la carga física del trabajador.

Es importante resaltar que, para la construcción de los lineamientos antropométricos y biomecánicos, se tuvieron en cuenta los **parámetros antropométricos de la población laboral colombiana (1995)**, con el fin de garantizar que las propuestas respondan a las características físicas de los trabajadores del contexto nacional.

De igual manera, para los criterios relacionados con funcionalidad, usabilidad y selección de materiales, se tomó como referente el **libro Manual de Diseño Universal del autor Gerardo Rodríguez**, así como **la norma ISO 9241**, la cual establece principios y recomendaciones sobre la ergonomía de la interacción entre las personas y los sistemas, favoreciendo el diseño de productos más accesibles, cómodos y eficientes para los usuarios.



Integración del enfoque ergonómico

Estos lineamientos se apoyan en un enfoque ergonómico integral que conecta distintas dimensiones del diseño, como la ergonomía física, cognitiva, organizacional y ambiental.

El presente estudio pone **especial énfasis en la ergonomía física**, ya que su objetivo principal es la reducción de la carga física del trabajador. A partir de este enfoque, se integran de forma complementaria criterios relacionados con la usabilidad, la funcionalidad y la selección de materiales, para asegurar una propuesta coherente y aplicable.

De igual manera, los lineamientos incorporan de manera transversal los principios del DU, favoreciendo soluciones accesibles y adaptables a diferentes usuarios, así como criterios asociados a las BPA, orientados a mejorar las condiciones de trabajo y la sostenibilidad del proceso productivo.



Alcance de los lineamientos

Los lineamientos propuestos, así como la estructura de su aplicación, conforman una herramienta metodológica con potencial de uso en diversos contextos profesionales, productivos y académicos. Esta herramienta permite **guiar el diseño de los dispositivos asistidos**, así como su análisis según los criterios ergonómicos, funcionales, de usabilidad y de materiales, lo que facilita la toma de decisiones durante el proceso de desarrollo.

Asimismo, los lineamientos permiten analizar el nivel de correspondencia entre las condiciones de diseño del dispositivo y las necesidades reales del contexto de uso, favoreciendo propuestas más coherentes, seguras y aplicables.

Usuarios de la herramienta

La herramienta metodológica propuesta está dirigida a diferentes actores que intervienen en el diseño, evaluación e implementación de soluciones en el contexto agrícola.

Profesionales técnicos

- Ingenieros industriales
- Diseñadores industriales
- Ingenieros mecánicos
- Especialistas en Seguridad y Salud en el Trabajo
- Ergónomos

Uso:

- Diseño de dispositivos
- Evaluación de prototipos
- Mejora del diseño de dispositivos existentes

Sector productivo

- Empresas agrícolas
- Administradores de fincas
- Empresas algodoneras

Uso:

- Evaluación de herramientas
- Mejora de condiciones de trabajo
- Toma de decisiones de compra

Academia e investigación

- Estudiantes
- Investigadores
- Universidades

Uso:

- Referente metodológico
- Desarrollo de nuevos dispositivos
- Estudios ergonómicos

Integración metodológica

Los lineamientos se construyen integrando los hallazgos obtenidos en diferentes fases del estudio, asegurando su correspondencia directa con las condiciones reales de la actividad de recolección manual de algodón. Primero se hizo un **análisis ergonómico de las condiciones laborales del recolector de algodón de una empresa algodonera del departamento de Córdoba**, que permitió identificar las principales exigencias físicas, posturales y operativas asociadas a la tarea. Posteriormente, se realizó un **análisis de soluciones existentes**, con el fin de reconocer las alternativas actuales, sus

limitaciones y oportunidades de mejora en el contexto del diseño de dispositivos asistidos.

Con estos aportes se desarrolló la fase de **formulación de criterios técnicos**, mediante la cual se estructuraron los lineamientos orientadores del diseño del dispositivo, asegurando su coherencia con las problemáticas identificadas y su aplicabilidad en condiciones reales de uso. Así, los lineamientos no surgen de forma aislada, sino como producto de un proceso metodológico estructurado que articula el análisis del contexto, la revisión de las soluciones y la definición de los criterios de diseño.

Además, los lineamientos incluyen representaciones gráficas que muestran tanto la situación presente como la solución que se plantea, con el objetivo de facilitar la comprensión y su aplicación práctica.



Organización de los lineamientos

Los lineamientos ergonómicos desarrollados se agrupan en cinco grupos, de acuerdo con su naturaleza y enfoque en el diseño del dispositivo, lo que permite abordar de manera integral las diferentes dimensiones que participan en la interacción entre el usuario, el producto y el entorno. A este respecto, se establecen los siguientes grupos de lineamientos:

- **Lineamientos antropométricos-LA:** relacionados con la adaptación del dispositivo a las dimensiones del cuerpo del usuario, tomando en cuenta criterios como las alturas, los alcances, los espacios y las zonas de confort.
- **Lineamientos biomecánicos-LB:** orientados a la postura, el movimiento y la carga física del trabajador, procurando reducir esfuerzos innecesarios, prevenir fatiga y facilitar condiciones ergonómicas durante la tarea.
- **Lineamientos de funcionalidad-LF:** relacionados con el desempeño del dispositivo, su capacidad para cumplir su función, su resistencia, durabilidad y su comportamiento en condiciones reales de uso.
- **Lineamientos de usabilidad-LU:** orientados a la interacción usuario-producto, abordando aspectos como facilidad de uso, eficiencia, seguridad en la interacción, confort y experiencia del usuario.
- **Lineamientos de materiales-LM:** relacionados con la elección de los materiales del dispositivo, considerando peso, resistencia, durabilidad, sostenibilidad, costo, seguridad, facilidad de limpieza, mantenimiento y compatibilidad con las condiciones ambientales del contexto agrícola.

Esta organización permite dar una estructura clara y sistemática a los lineamientos, facilitando su comprensión, aplicación y articulación dentro del proceso de diseño.

Diferenciación entre lineamientos

Algunos lineamientos pueden parecer cercanos desde el punto de vista conceptual, pero cada uno responde a un nivel diferente de diseño. Los lineamientos antropométricos determinan la adaptación dimensional del dispositivo al usuario; los biomecánicos orientan la reducción de carga física y postural; los funcionales se centran en el desempeño operativo del dispositivo; los de usabilidad abordan la interacción y aceptación por parte del usuario; y los de materiales orientan la selección de componentes adecuados para el contexto agrícola.

Por ello, los lineamientos no se asumen como repetitivos, sino complementarios, pues abren la posibilidad de analizar el dispositivo desde dimensiones diversas pero articuladas entre sí.

Por ejemplo, **la versatilidad funcional** se refiere a la capacidad del dispositivo para desempeñarse en distintas condiciones de uso, mientras que la **adaptabilidad** desde la **usabilidad** se refiere a la facilidad con que el usuario puede ajustar, comprender y usar el dispositivo en distintos escenarios. De igual forma, la **estabilidad funcional** se refiere al comportamiento estructural del dispositivo, mientras que la **estabilidad biomecánica** se refiere al equilibrio corporal del trabajador durante la interacción con el sistema.

De la misma manera, la **resistencia del dispositivo** se refiere al comportamiento del sistema completo, mientras que la **resistencia de los materiales** se refiere a las propiedades físicas de los componentes elegidos.

Esta distinción nos permite ver que las directrices no se duplican, sino que se potencian desde diferentes ángulos del diseño.

Siglas utilizadas

Con el objetivo de facilitar la comprensión de los lineamientos, a continuación se presentan las siglas utilizadas a lo largo del documento:

- **DU:** diseño universal
- **BPA:** buenas prácticas agrícolas
- **L#:** Identificador de lineamientos
- **LA:** Lineamientos antropométricos
- **LB:** Lineamientos biomecánicos
- **LF:** Lineamientos de funcionalidad
- **LU:** Lineamientos de usabilidad
- **LM:** Lineamientos de materiales

A partir del marco conceptual, metodológico y estructural previamente descrito, se presentan los lineamientos ergonómicos formulados, organizados en función de los diferentes criterios que intervienen en el diseño del dispositivo asistido para la recolección manual de algodón.

Estos lineamientos se agrupan en cinco apartados: antropométricos (LA), biomecánicos (LB), funcionales (LF), usabilidad (LU) y materiales (LM) que permiten considerar de forma integral la relación existente entre el usuario, el dispositivo y el entorno de trabajo.

Cada conjunto de directrices se enfoca en una dimensión específica del diseño, lo cual facilita un análisis diferenciado de los aspectos relacionados con la adaptación al usuario, la carga física, el rendimiento del dispositivo, la interacción y las características de los materiales, evitando redundancias y promoviendo un enfoque sistemático.

En su conjunto, los lineamientos constituyen una herramienta orientada a apoyar el diseño de dispositivos asistidos, facilitando la toma de decisiones y promoviendo soluciones más seguras, eficientes y adecuadas a las condiciones reales de la actividad de recolección manual de algodón.



Tabla1. Resumen de los grupos de lineamientos LIDERA

Grupo	Código	Enfoque principal	Propósito
Lineamientos antropométricos	LA	Adaptación dimensional del dispositivo al usuario	Favorecer el ajuste a diferentes características corporales
Lineamientos biomecánicos	LB	Postura, movimiento, fuerza y carga física	Reducir exigencias biomecánicas durante la recolección
Lineamientos funcionales	LF	Desempeño operativo del dispositivo	Garantizar que el dispositivo cumpla su función en campo
Lineamientos de usabilidad	LU	Interacción usuario–producto	Facilitar el uso, seguridad, confort y comprensión del dispositivo
Lineamientos de materiales	LM	Selección de materiales y componentes	Favorecer bajo peso, resistencia, durabilidad, seguridad y mantenimiento

Nota. Elaboración propia. La tabla presenta la organización general de los lineamientos ergonómicos formulados para orientar el diseño de un dispositivo asistido en la recolección manual de algodón.

Nota aclaratoria sobre los recursos visuales

Las figuras incluidas en el documento son de carácter ilustrativo y se utilizan principalmente en los lineamientos antropométricos y biomecánicos, debido a que en estos casos la representación visual facilita la comprensión de aspectos relacionados con postura, alcance, altura de trabajo, agarre y carga física. En los lineamientos funcionales, de usabilidad y de materiales, la orientación se presenta en forma de descripción técnica, pues su aplicación depende de criterios operativos, de la interacción usuario–dispositivo y de la selección de componentes.

Lineamientos antropométricos

Los lineamientos antropométricos permiten establecer la relación entre las dimensiones del dispositivo asistido y las características corporales de la población usuaria, con el fin de propiciar condiciones adecuadas de ajuste, alcance funcional, postura neutra y comodidad durante la recolección manual de algodón. Estos criterios tienen como base la variabilidad antropométrica de la población, tomando en cuenta medidas corporales que son relevantes para el diseño de espacios, alturas de trabajo, zonas de alcance y dimensiones de agarre.

Su uso ayuda a mejorar la interacción física entre el trabajador y el dispositivo, facilitando su uso seguro y eficiente en condiciones reales de campo. En conjunto, los lineamientos antropométricos constituyen la base dimensional del diseño ergonómico, orientando soluciones inclusivas que respondan a diferentes características corporales de la población usuaria.

Referentes metodológicos para la formulación de los lineamientos antropométricos

La formulación de los lineamientos antropométricos se fundamenta en principios y fuentes reconocidas en el diseño ergonómico, orientadas a la adaptación del dispositivo a las características corporales de la población usuaria.

Estos referentes incluyen bases de datos antropométricas, criterios de diseño centrado en el usuario y principios relacionados con alcances funcionales, zonas de confort y dimensiones de agarre. Estos elementos no se emplean como instrumentos de medición directa dentro del estudio, sino como bases técnicas para orientar la definición de parámetros aplicables al diseño del dispositivo.



Tabla 2. Referentes metodológicos utilizados en la formulación de los lineamientos antropométricos y su aplicación principal

Referente metodológico	Aplicación principal en los lineamientos
ACOPLA95	Base de datos antropométrica de población laboral colombiana
Percentiles antropométricos (P5, P50, P95)	Definición de rangos de ajuste y cobertura poblacional
Principios de diseño antropométrico	Adaptación dimensional del dispositivo al usuario
Alcance funcional horizontal y vertical	Ubicación de controles y zonas de trabajo
Zonas de confort postural	Diseño de tareas dentro de rangos ergonómicos de uso
Principios de agarre ergonómico	Definición de dimensiones de mangos y superficies de contacto

Nota. Referentes técnicos empleados como base para la formulación de los lineamientos antropométricos del estudio. Se toman como referencia los parámetros antropométricos de la población laboral colombiana ACOPLA95.



Realidad colombiana

LA1. Adaptabilidad antropométrica del dispositivo

El dispositivo debe permitir la adaptación a las características antropométricas de la población usuaria, considerando un rango comprendido entre **los percentiles 5 y 95**, con el fin de cubrir la mayoría de los trabajadores y reducir la adopción de posturas forzadas durante la actividad de recolección manual de algodón.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes presentan limitaciones en su capacidad de ajuste, lo que impide su adaptación a la variabilidad antropométrica de los usuarios, restringiendo su uso a un rango limitado de trabajadores.

Problema que resuelve

Durante la actividad de recolección manual de algodón se identifican posturas forzadas asociadas a la falta de correspondencia entre las dimensiones del dispositivo y las características antropométricas del trabajador, generando flexión excesiva del tronco y sobrecarga musculoesquelética.

Guía de diseño

Se recomienda incorporar sistemas de ajuste mecánico que permitan modificar la altura y configuración del dispositivo, garantizando su adaptación a diferentes usuarios dentro del rango antropométrico definido. Estos sistemas deben permitir ajustes continuos o discretos, ser de fácil manipulación, seguros y resistentes a las condiciones del entorno agrícola.

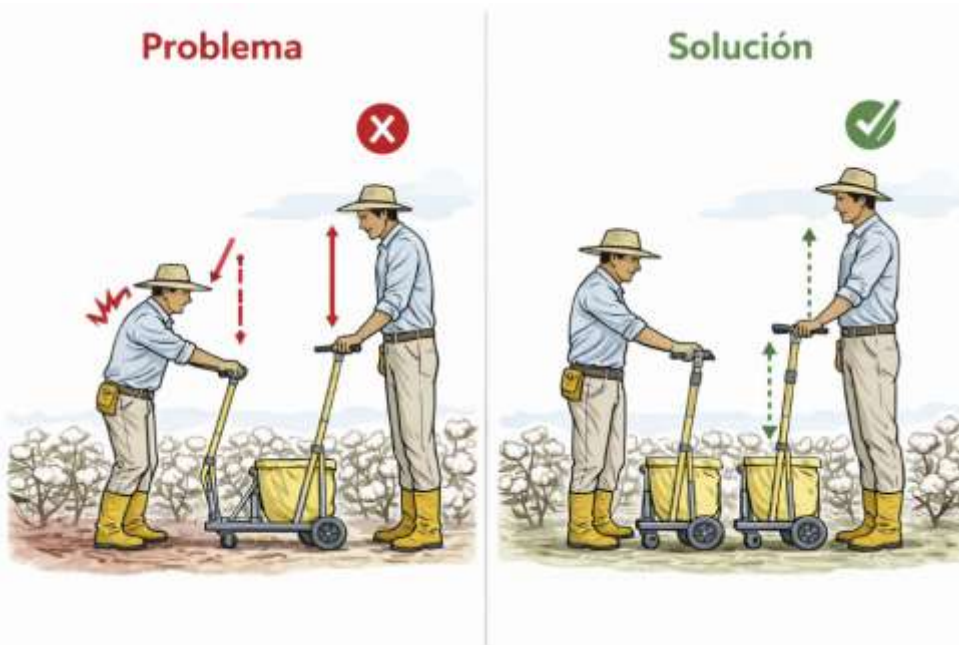


Figura A1. Adaptación del dispositivo a diferentes características antropométricas.

LA2. Adecuación de la altura de trabajo del dispositivo

El dispositivo debe permitir la regulación de la altura de trabajo en **un rango entre 92 y 112 cm**, correspondiente a la altura del codo del usuario, con el fin de favorecer posturas neutras y reducir la flexión del tronco durante la recolección manual de algodón.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes no contemplan ajustes adecuados en la altura de trabajo, o que obliga a los usuarios a adaptarse al dispositivo, generando posturas forzadas y disminuyendo la eficiencia de la actividad.

Problema que resuelve

Se identifican posturas de flexión lumbar sostenida durante la actividad de recolección, asociadas a alturas de trabajo inadecuadas, lo que incrementa la carga biomecánica y el riesgo de trastornos musculoesqueléticos en la región lumbar.

Guía de diseño

Se recomienda diseñar mecanismos de ajuste vertical que permitan modificar la altura del dispositivo dentro del rango establecido (92–112 cm), garantizando su adaptación a diferentes usuarios. El sistema debe permitir ajustes continuos o discretos, ser de fácil manipulación, asegurar la estabilidad del dispositivo en cada nivel de ajuste y funcionar adecuadamente en condiciones reales de campo.

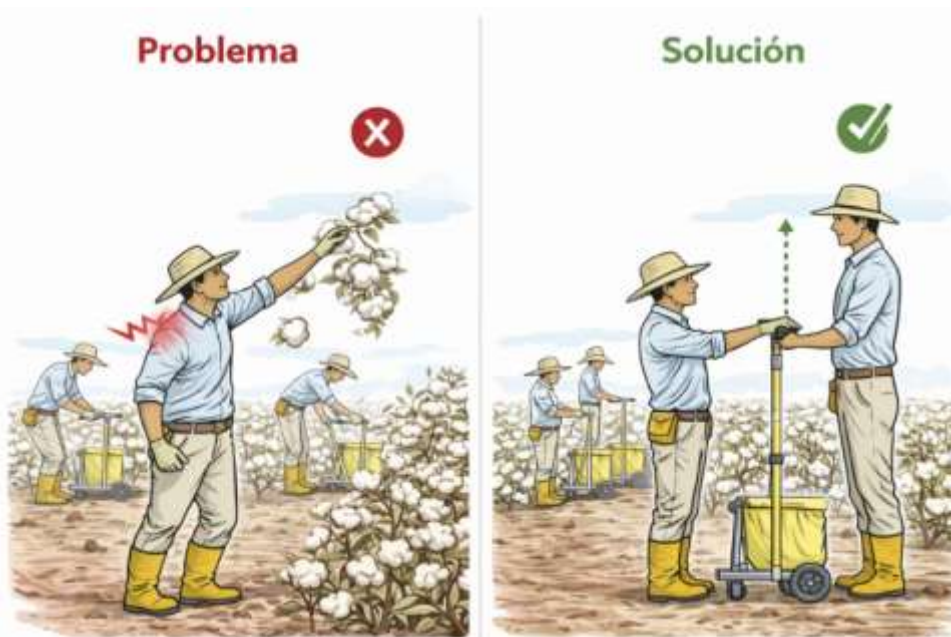


Figura A2. Ajuste de la altura de trabajo del dispositivo en relación con la altura del codo del usuario

LA 3. Adecuación del espacio de trabajo del dispositivo

El espacio de trabajo del dispositivo debe ser al menos igual al **ancho de hombros**, considerando un margen adicional que permita la movilidad de los miembros superiores, con el fin de evitar restricciones en el movimiento y reducir la carga física durante la recolección manual de algodón.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes no consideran adecuadamente el espacio necesario para la interacción del trabajador con el sistema de recolección, lo que restringe el movimiento natural de los brazos y afecta la eficiencia de la tarea.

Problema que resuelve

Se identifican limitaciones en la movilidad de los miembros superiores durante la recolección manual de algodón, asociadas a espacios de trabajo reducidos que generan posturas incómodas, movimientos forzados y aumento de la carga física.

Guía de diseño

Se recomienda diseñar el espacio de trabajo del dispositivo considerando el ancho de hombros de la población usuaria, incorporando un margen adicional que permita la movilidad libre de los miembros superiores. El diseño debe adaptarse a las condiciones reales del entorno agrícola.

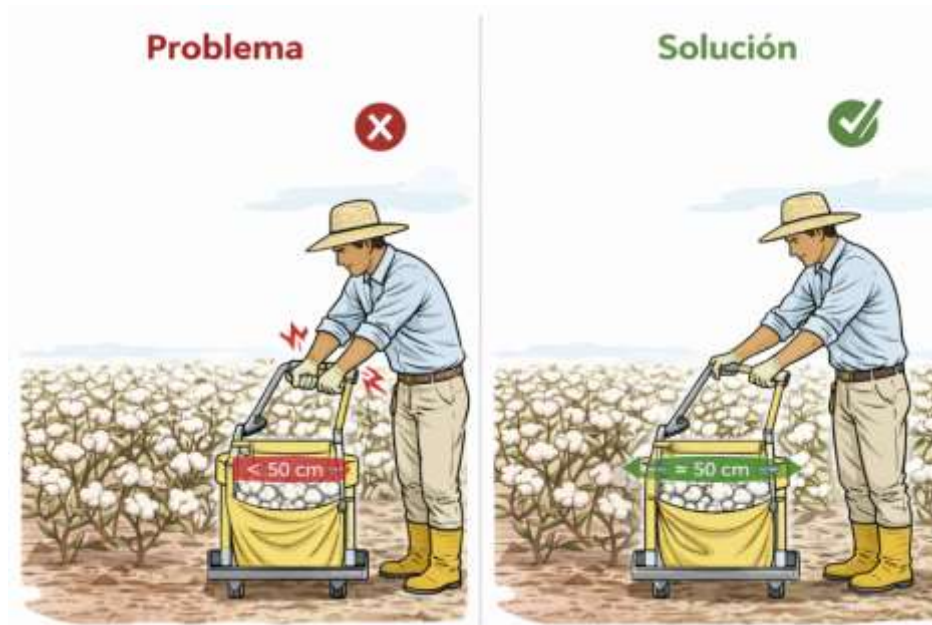


Figura A3. Espacio de trabajo insuficiente en comparación con espacio adecuado para la manipulación del dispositivo durante la recolección de algodón

LA4. Ubicación ergonómica de los elementos de control y manipulación

Los elementos de trabajo del dispositivo deben ubicarse dentro del **plano sagital ($\pm 30^\circ$)**, correspondiente a la zona de alcance óptimo del usuario, con el fin de minimizar la abducción del hombro y reducir la carga física asociada a movimientos repetitivos durante la recolección manual de algodón.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes no consideran la ubicación adecuada de los elementos de trabajo, lo que obliga al usuario a realizar movimientos fuera de la zona de alcance óptimo.

Problema que resuelve

Se identifican movimientos repetitivos con abducción del hombro y desviaciones del plano sagital, lo que incrementa la carga biomecánica en los miembros superiores y el riesgo de fatiga muscular.

Guía de diseño

Se recomienda ubicar los elementos de agarre, control o manipulación directamente frente al usuario, evitando posiciones laterales o alejadas. El diseño debe permitir el acceso con los brazos en posición cercana al cuerpo, reduciendo la necesidad de abducción, extensión o rotación excesiva.

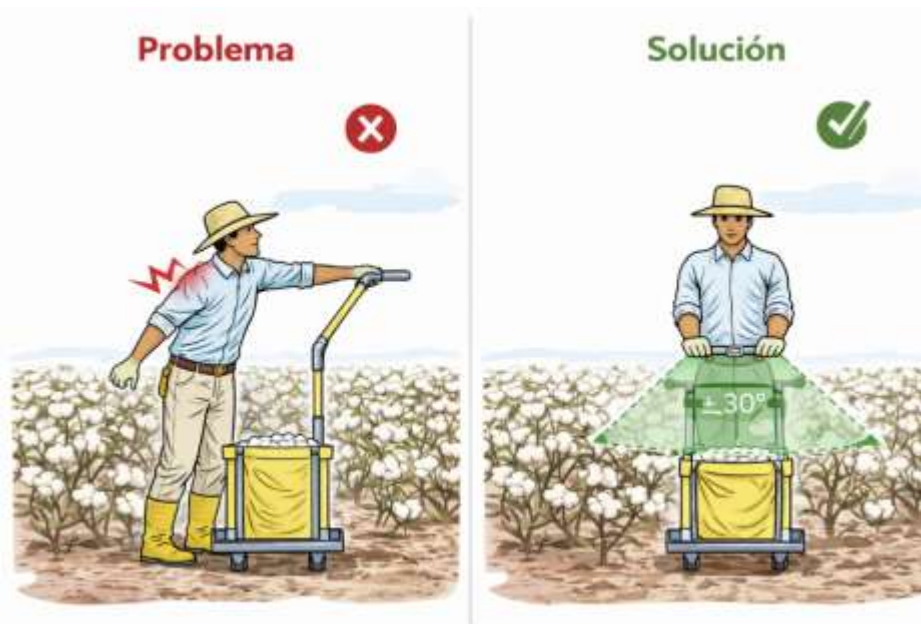


Figura A4. Ubicación inadecuada en comparación con ubicación ergonómica de los elementos dentro del plano sagital

LA5. Ubicación de los elementos dentro del alcance funcional del usuario

Los elementos de trabajo del dispositivo deben ubicarse dentro del **75% del alcance funcional del usuario**, correspondiente a la zona de confort, con el fin de evitar el sobre alcance y reducir la carga física en los miembros superiores durante la recolección manual de algodón.

La ubicación en el plano sagital se diferencia de este lineamiento que se centra en la distancia funcional de los elementos con respecto al cuerpo del usuario, evitando el sobre alcance y la extensión completa del miembro superior.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes ubican los elementos de trabajo fuera de la zona de alcance confortable, obligando al usuario a extender completamente el brazo durante la tarea.

Problema que resuelve

Se identifican movimientos de extensión completa del miembro superior durante la recolección, lo que incrementa la carga biomecánica en hombro y brazo, favoreciendo la aparición de fatiga muscular.

Guía de diseño

Se recomienda ubicar los elementos de trabajo del dispositivo dentro de la zona de alcance confortable del usuario, evitando distancias que requieran la extensión completa del brazo. El diseño debe priorizar la proximidad de los elementos al cuerpo, facilitar movimientos repetitivos dentro de rangos ergonómicamente seguros y adaptarse a las condiciones reales del entorno agrícola.

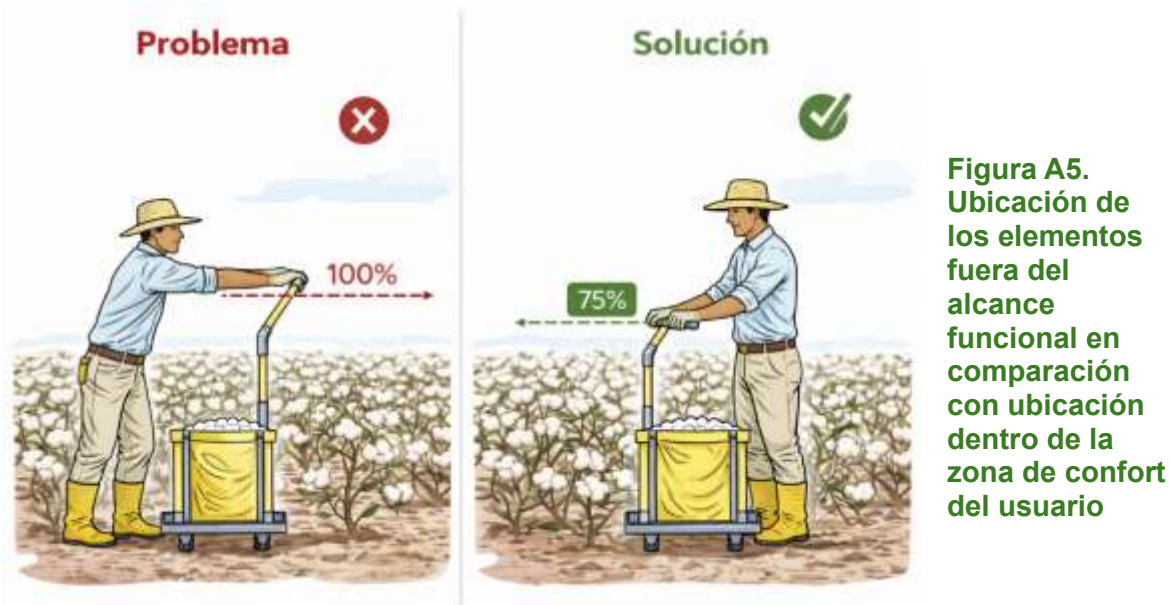


Figura A5. Ubicación de los elementos fuera del alcance funcional en comparación con ubicación dentro de la zona de confort del usuario

LA6. Diseño ergonómico del sistema de agarre

El sistema de agarre del dispositivo debe diseñarse considerando un **diámetro entre 3 y 5 cm** y una **longitud mínima de 12 cm**, que permita el contacto completo de la mano, con el fin de optimizar la

generación de fuerza, mejorar el control del dispositivo y reducir la carga muscular durante la recolección manual de algodón.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes presentan sistemas de agarre inadecuados, con dimensiones que no permiten una correcta adaptación a la mano del usuario, afectando la eficiencia del movimiento.

Problema que resuelve

Se identifican agarres con diámetros inadecuados y longitudes insuficientes, lo que genera sobreesfuerzo muscular, disminución de la fuerza de prensión y aumento del riesgo de fatiga en los miembros superiores.

Guía de diseño

Se recomienda diseñar el sistema de agarre de forma que sus dimensiones permitan el contacto completo de la mano, evitando diámetros muy pequeños o grandes. El diseño debe incorporar superficies antideslizantes, facilitar la transmisión de fuerza y permitir un control adecuado del dispositivo en condiciones reales de uso.

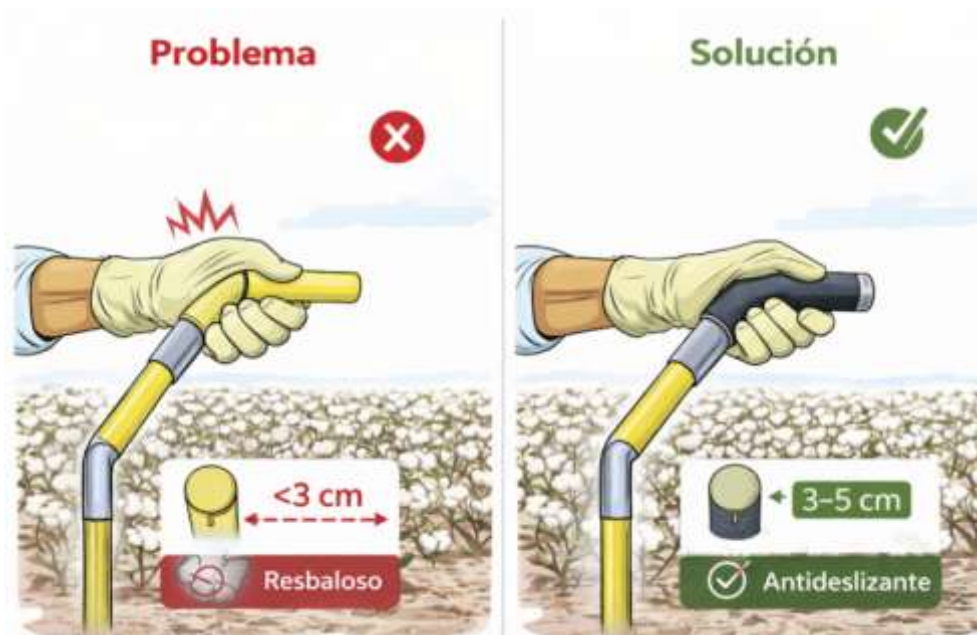


Figura A6. Agarre inadecuado en comparación con agarre ergonómico del dispositivo

LA7. Diseño del sistema de ajuste del dispositivo

El dispositivo debe tener un sistema de ajuste que permita cambios continuos o en pequeños incrementos, para adaptarse a las características antropométricas del usuario y asegurar condiciones ergonómicas adecuadas durante la recolección manual de algodón.

Este lineamiento complementa los LA1 y LA2, ya que se enfoca específicamente en el mecanismo de ajuste del dispositivo, es decir, la forma técnica mediante la cual se logra la adaptación antropométrica y la regulación de la altura de trabajo.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos actuales disponen de sistemas de ajuste inexistentes, limitados o poco precisos, lo que dificulta su adaptación a diferentes usuarios y condiciones de trabajo.

Problema que resuelve

Durante la recolección manual, se identifican posturas forzadas asociadas a la imposibilidad de ajustar el dispositivo a las características del usuario, lo que incrementa la carga biomecánica y reduce la eficiencia en la tarea.

Guía de diseño

Se recomienda implementar mecanismos de ajuste telescópico, modular o regulable, que permitan modificaciones continuas o en incrementos pequeños, facilitando cambios rápidos y seguros sin requerir herramientas complejas. El sistema debe ser resistente, fácil de manipular, garantizar estabilidad en cada nivel de ajuste y funcionar adecuadamente en condiciones reales de campo.

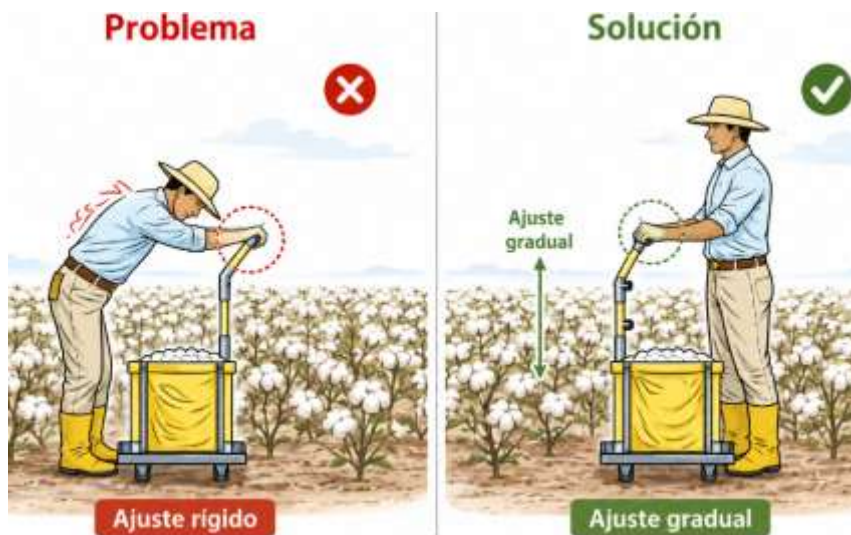


Figura A7. Comparación entre ajuste rígido y ajuste gradual para favorecer la adaptación antropométrica del dispositivo.

Fundamento de los lineamientos antropométricos

Los lineamientos antropométricos formulados se sustentan en la necesidad de garantizar la correspondencia entre las dimensiones del dispositivo y las características corporales de la población usuaria, favoreciendo posturas neutras, un alcance funcional óptimo y condiciones de agarre eficientes durante la actividad de recolección manual de algodón.

Para ello, se emplean datos antropométricos provenientes de la base ACOPLA95, correspondiente a población laboral colombiana, los cuales permiten establecer parámetros de diseño basados en la variabilidad de los usuarios. El uso de percentiles (P5, P50 y P95) facilita la definición de rangos de ajuste y dimensiones del dispositivo, asegurando la inclusión de la mayoría de la población y contribuyendo a la reducción de la carga física y la prevención de riesgos musculoesqueléticos.

En este sentido, los lineamientos no se limitan a recomendaciones generales, sino que se fundamentan en criterios técnicos medibles, que permiten orientar el diseño del dispositivo y facilitar su evaluación en contextos reales de uso.

Dimensiones verticales

Las dimensiones verticales permiten definir la altura de trabajo del dispositivo en relación con el cuerpo del usuario, especialmente considerando la altura del codo como referencia principal para el desarrollo de tareas.

De acuerdo con los datos antropométricos, la altura del codo en posición de pie se encuentra en un rango aproximado entre 92 cm (P5) y 112 cm (P95), lo cual constituye el parámetro

base para el diseño de la altura del dispositivo.

En este sentido:

- La zona de trabajo debe ubicarse a nivel del codo o ligeramente por debajo
- Se debe evitar el trabajo por encima del nivel del hombro
- Se debe evitar el trabajo prolongado por debajo de la cadera

Estos criterios permiten reducir la flexión del tronco y la sobrecarga en la región lumbar durante la actividad.

Dimensiones horizontales

Las dimensiones horizontales están asociadas al espacio de trabajo y a la ubicación de los elementos del dispositivo en relación con el cuerpo del usuario.

A partir de los datos antropométricos, se establecen parámetros como el ancho de hombros y la separación de brazos, los cuales permiten definir un espacio mínimo que garantice la movilidad de los miembros superiores.

En este sentido:

- El espacio de trabajo debe permitir el movimiento libre de los brazos
- Los elementos del dispositivo deben ubicarse dentro del plano sagital ($\pm 30^\circ$), correspondiente a la zona de alcance óptimo
- Se debe evitar la restricción lateral del movimiento

Dimensiones longitudinales

Las dimensiones longitudinales permiten establecer el alcance funcional del usuario, determinando la distancia óptima a la cual deben ubicarse los elementos de trabajo del dispositivo.

Con base en los datos antropométricos, el alcance funcional horizontal se encuentra aproximadamente entre 65 cm (P5) y 85 cm (P95). Sin embargo, desde el punto de vista ergonómico, se recomienda trabajar dentro del 75% de este alcance, correspondiente a la zona de confort.

En este sentido:

- Los elementos de trabajo deben ubicarse cerca del cuerpo
- Se debe priorizar la zona de confort del usuario
- Se debe evitar el sobre alcance (>75% del alcance funcional)

Fundamento del alcance funcional (L5)

La ubicación de los elementos de trabajo dentro del 75% del alcance funcional se fundamenta en el concepto de zona de alcance confortable descrito en la literatura ergonómica. Diversos autores señalan que las tareas deben desarrollarse dentro de un rango cercano al cuerpo, evitando la extensión completa del miembro superior, ya que esta incrementa la carga biomecánica y reduce la eficiencia del movimiento (Grandjean, 1998; Pheasant & Haslegrave, 2006).

De igual forma, normas como la ISO 14738 establecen la importancia de diseñar las áreas de trabajo dentro de zonas de alcance que minimicen posturas forzadas y movimientos extremos. En este contexto, el valor del 75% del alcance funcional se adopta como un criterio operativo que permite delimitar una zona de trabajo ergonómicamente favorable, facilitando la ejecución de movimientos repetitivos con menor esfuerzo y mayor control.

Estos criterios aquí descritos permiten reducir la carga en los miembros superiores y evitar la extensión completa del brazo durante movimientos repetitivos.



Dimensiones de agarre

Las dimensiones de agarre se fundamentan tanto en datos antropométricos como en criterios biomecánicos relacionados con la eficiencia de la prensión.

Las dimensiones de la mano se obtienen a partir de la base ACOPLA95; sin embargo, el diámetro óptimo de agarre no depende únicamente de estas medidas, sino de estudios ergonómicos sobre herramientas manuales.

En este sentido, se establece que:

- El diámetro óptimo de agarre para fuerza se encuentra entre 3 y 5 cm
- La longitud mínima del mango debe ser de al menos 12 cm
- El agarre debe permitir el contacto completo de la mano
- La superficie debe ser antideslizante

Se debe evitar:

- Diámetros muy pequeños (sobreesfuerzo muscular)
- Diámetros muy grandes (disminución de la fuerza)
- Mangos cortos (compresión en la palma)

Formas inadecuadas (desviación de la muñeca)



Lineamientos biomecánicos

Los lineamientos biomecánicos permiten analizar las posturas, movimientos y demandas físicas asociadas al uso del dispositivo asistido durante la recolección manual de algodón, evaluando su impacto sobre el sistema musculoesquelético del trabajador. Estos criterios se orientan a identificar desviaciones de la postura neutra, niveles de esfuerzo físico, manipulación de cargas, repetitividad, estabilidad postural y transmisión de impactos mecánicos, factores que influyen directamente en la aparición de fatiga y trastornos musculoesqueléticos.

Su aplicación favorece la reducción de cargas biomecánicas, mejora la eficiencia del movimiento y contribuye a la prevención de riesgos ergonómicos durante la ejecución de la tarea. En

conjunto, los lineamientos biomecánicos no deben entenderse de forma aislada, sino como un sistema integrado orientado a optimizar la interacción física entre el trabajador y el dispositivo en condiciones reales de uso.

Referentes metodológicos para la formulación de los lineamientos biomecánicos

La formulación de los lineamientos biomecánicos se apoyó en métodos y herramientas reconocidas internacionalmente para la evaluación ergonómica de posturas, movimientos y esfuerzo físico, empleadas como referentes técnicos orientadores. Estos referentes no se emplean como instrumentos diagnósticos directos dentro del estudio, sino como bases técnicas para orientar la formulación de criterios aplicables al diseño ergonómico del dispositivo.

Tabla 3. Referentes metodológicos utilizados en la formulación de los lineamientos biomecánicos y su aplicación principal

Referente metodológico	Aplicación principal en los lineamientos
RULA (Rapid Upper Limb Assessment)	Evaluación de cuello, tronco y miembro superior
REBA (Rapid Entire Body Assessment)	Evaluación postural global y miembros inferiores
Ecuación Revisada de NIOSH	Manipulación manual de cargas
JSI (Job Strain Index)	Tareas repetitivas y esfuerzo del miembro superior
Escala de Borg CR10	Percepción subjetiva del esfuerzo físico
Principios generales de biomecánica ocupacional	Distribución de cargas, equilibrio y movimiento eficiente

Nota. Referentes técnicos empleados como base para la formulación de los lineamientos biomecánicos del estudio.

LB1. Postura del tronco y cuello

El dispositivo debe permitir mantener el tronco y el cuello en posiciones **cercanas a la neutralidad**, evitando flexión, inclinación lateral y rotación excesiva durante la recolección manual de algodón, con el fin de reducir la carga biomecánica sobre la columna vertebral y prevenir fatiga muscular y trastornos musculoesqueléticos.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes no garantizan condiciones de trabajo que favorezcan la

alineación postural del tronco y cuello, obligando al trabajador a adoptar posturas forzadas.

Problema que resuelve

Durante la recolección manual se identifican flexiones sostenidas del tronco y posturas cervicales inadecuadas, lo que incrementa la carga física y el riesgo de fatiga musculoesquelética.

Guía de diseño

Se recomienda ubicar las tareas principales frente al usuario y a una altura adecuada, evitando inclinaciones repetidas del tronco y posiciones forzadas del cuello.

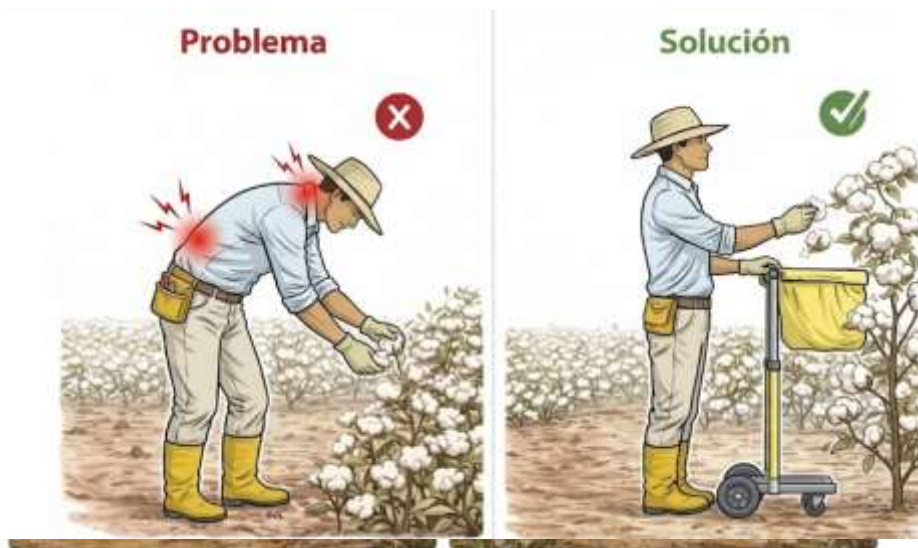


Figura B1. Postura inadecuada vs postura ergonómica del tronco y cuello durante la recolección manual de algodón

LB2. Postura neutra del miembro superior (brazo, antebrazo y muñeca)

El dispositivo debe permitir que el miembro superior se mantenga en posiciones cercanas a la neutralidad, evitando elevación del hombro, abducción, rotaciones y desviaciones articulares durante la recolección manual de algodón, con el fin **de reducir la carga biomecánica** sobre hombro, brazo, antebrazo y muñeca, y prevenir fatiga muscular y trastornos musculoesqueléticos.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes no consideran adecuadamente la postura funcional del miembro superior, obligando al usuario a trabajar con hombros elevados, brazos

separados del cuerpo y muñecas desviadas.

Problema que resuelve

Durante la recolección manual se identifican posturas forzadas del miembro superior, caracterizadas por elevación del hombro, abducción del brazo y desviaciones de muñeca, lo que incrementa la demanda muscular y el riesgo de fatiga y lesión.

Guía de diseño

Se recomienda ubicar los puntos de agarre y control dentro de la zona de alcance confortable del usuario, permitiendo que los codos permanezcan cercanos al cuerpo y las muñecas alineadas durante la manipulación. El diseño debe evitar movimientos laterales excesivos y agarres elevados.

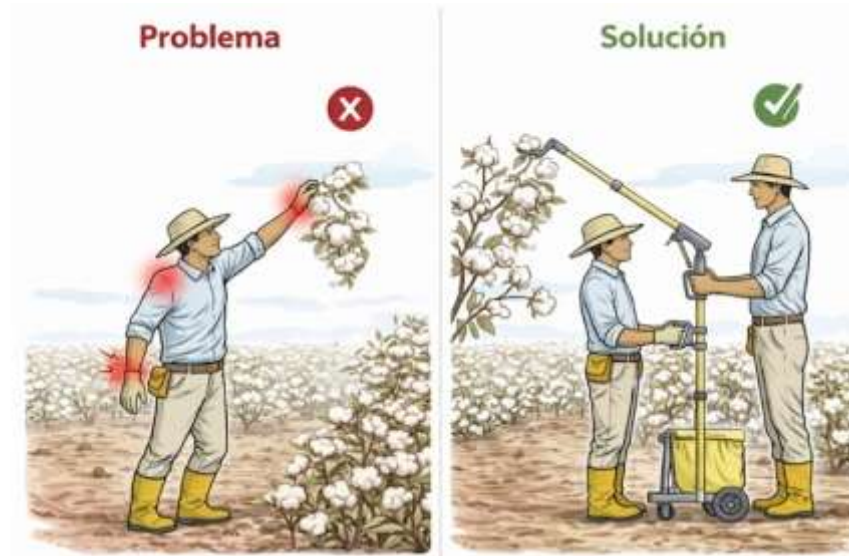


Figura B2. Postura inadecuada vs postura ergonómica del miembro superior durante la recolección manual de algodón

LB3. Reducción de movimientos repetitivos y sobreesfuerzo del miembro superior

El dispositivo debe minimizar la frecuencia de movimientos repetitivos y el esfuerzo excesivo del miembro superior durante la recolección manual de algodón, favoreciendo patrones de movimientos **más eficientes**, fluidos y de menor demanda física, con el fin de reducir fatiga muscular y riesgo de trastornos musculoesqueléticos por repetición.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes no contemplan mecanismos que reduzcan la repetición continua de movimientos de agarre, elevación, tracción o desplazamiento del miembro superior,

manteniendo altas exigencias físicas durante la tarea.

Problema que resuelve

Durante la recolección manual se realizan movimientos repetitivos de hombro, codo, muñeca y mano, asociados a ciclos continuos de alcance, manipulación y descarga del algodón, lo que incrementa la fatiga acumulada y el riesgo de lesiones por sobreuso.

Guía de diseño

Se recomienda incorporar mecanismos que faciliten la captura, conducción o depósito del algodón con menos acciones manuales repetidas. El sistema debe favorecer movimientos naturales, continuidad operativa y menor esfuerzo en tareas de alta frecuencia.

Nota: Se recomienda valorar fatiga percibida del miembro superior tras ciclos repetitivos mediante Escala de Borg CR10.

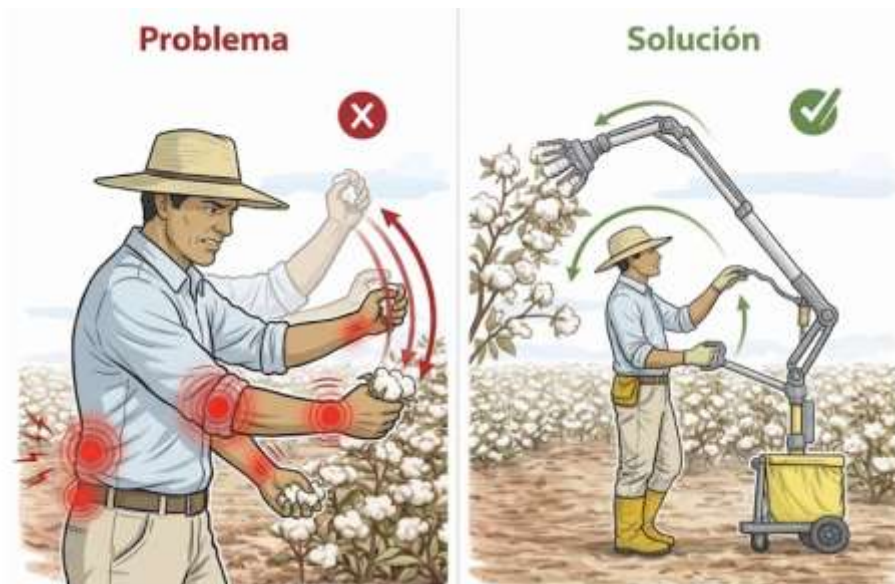


Figura B3. Alta repetición de movimientos vs operación ergonómica con menor demanda repetitiva durante la recolección manual de algodón

LB4. Postura estable y reducción de carga biomecánica en miembros inferiores

El dispositivo debe permitir que los miembros inferiores se mantengan en **posiciones funcionales** y estables, evitando flexiones excesivas de cadera y rodilla, apoyos inestables y sobrecarga prolongada durante la recolección manual de algodón, con el fin de reducir la fatiga muscular, mejorar el equilibrio postural y prevenir molestias musculoesqueléticas en piernas y pies.

La regla LF7 se centra en la estabilidad estructural y operativa del dispositivo; la regla LB4 se centra en la estabilidad corporal del trabajador durante la interacción con el dispositivo.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes no consideran adecuadamente las exigencias biomecánicas de los miembros inferiores,

obligando al trabajador a mantener posturas prolongadas, desplazamientos inestables o flexiones repetidas en terreno agrícola irregular.

Problema que resuelve

Durante la recolección manual de algodón se presentan cargas sostenidas en piernas, flexión repetitiva de rodillas, apoyos asimétricos y fatiga en miembros inferiores, lo que disminuye la estabilidad postural y aumenta el riesgo de molestias físicas y accidentes.

Guía de diseño

Se recomienda incorporar elementos que favorezcan el equilibrio y la movilidad del trabajador, tales como apoyo estable, distribución adecuada del peso, facilidad de desplazamiento y mínima necesidad de agacharse o adoptar posturas forzadas. El sistema debe adaptarse a superficies irregulares propias del cultivo.

Nota: Se recomienda valorar cansancio general de miembros inferiores después de la jornada mediante Escala de Borg CR10.

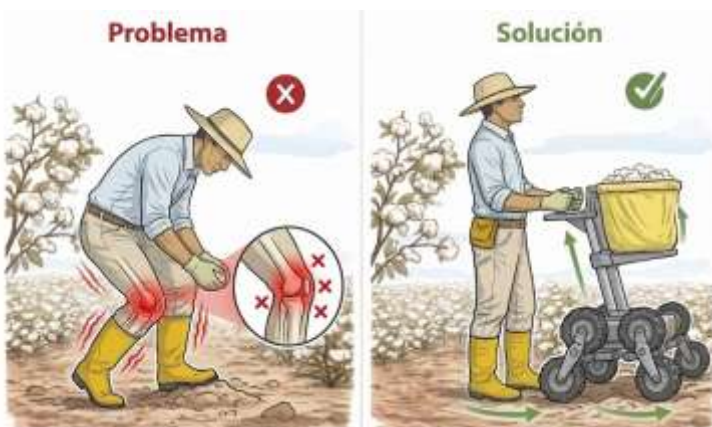


Figura B4. Postura inestable vs postura ergonómica de miembros inferiores durante la recolección manual de algodón

LB5. Reducción de fuerza de empuje y arrastre del dispositivo

El dispositivo debe **minimizar la fuerza** requerida para las acciones de **empuje y arrastre** durante la recolección manual de algodón, favoreciendo el desplazamiento eficiente sobre el terreno y reduciendo la demanda física del trabajador, con el fin de disminuir la fatiga muscular y la sobrecarga biomecánica.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes no consideran adecuadamente la resistencia al desplazamiento sobre terrenos agrícolas, exigiendo altos niveles de esfuerzo para empujar, arrastrar o maniobrar el sistema durante la tarea.

Problema que resuelve

Durante la recolección manual de algodón, el desplazamiento de dispositivos o cargas sobre el terreno puede requerir fuerzas elevadas de empuje o arrastre, lo que incrementa la carga física sobre miembros superiores, tronco y miembros inferiores, acelerando la aparición de fatiga.

Guía de diseño

Se recomienda utilizar ruedas o mecanismos de desplazamiento compatibles con superficies agrícolas, minimizar fricción, mejorar estabilidad direccional y ubicar puntos de agarre que permitan empuje cercano al cuerpo. El sistema debe facilitar arranque, giro y traslado con mínima demanda física.

Nota: Se recomienda valorar el esfuerzo percibido por el usuario durante las tareas de empuje y arrastre mediante la Escala de Borg CR10.

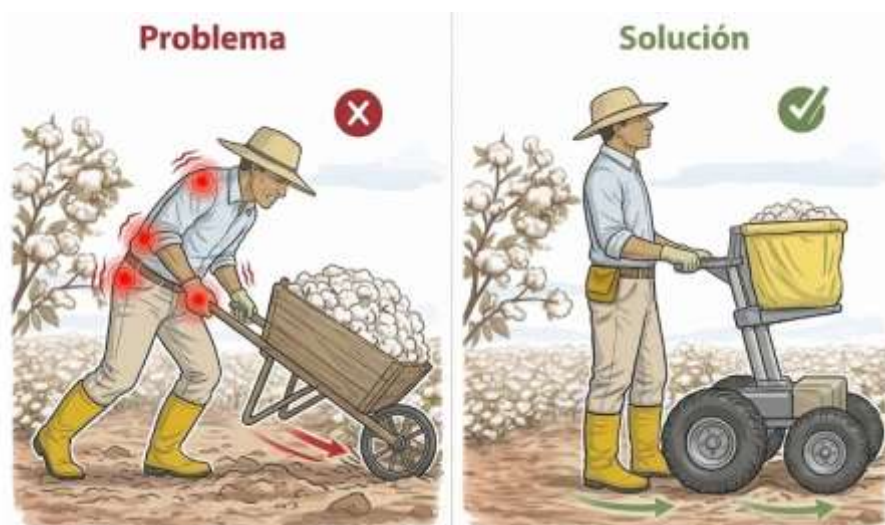


Figura B5. Alto esfuerzo de empuje/arrastre vs desplazamiento ergonómico del dispositivo durante la recolección manual de algodón

LB6. Distribución simétrica de cargas durante el uso del dispositivo

El dispositivo debe favorecer una **distribución simétrica** de las cargas durante su uso, evitando sobrecargas unilaterales, compensaciones posturales y desplazamientos del centro de masa durante la recolección manual de algodón, con el fin de reducir la carga biomecánica, mejorar la estabilidad corporal y prevenir fatiga musculoesquelética.

Nota: Si se utiliza un sistema de acopio, pesaje o registro de la producción recolectada, deberá ubicarse de tal forma que no produzca cargas asimétricas, sobrecarga sobre el cuerpo del trabajador ni desplazamientos del centro de gravedad que comprometan la estabilidad durante la operación.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes pueden concentrar el peso o la carga operativa trabajador a compensar mediante inclinaciones laterales, torsiones o apoyos asimétricos.

Problema que resuelve

Durante la recolección manual de algodón se presentan cargas desbalanceadas y patrones de uso unilateral, lo que incrementa la demanda muscular en hombro, columna y miembros inferiores, afectando la postura, el equilibrio y la eficiencia del movimiento.

Guía de diseño

Se recomienda ubicar recipientes, depósitos, sistemas de soporte o puntos de carga de manera centrada o balanceada. El diseño debe permitir uso bilateral cuando sea posible, minimizar cargas laterales sostenidas y conservar estabilidad durante desplazamiento, giro o manipulación.



Figura B6. Carga unilateral vs distribución simétrica de cargas durante la recolección manual de algodón

LB7. Reducción de vibración mecánica e impactos transmitidos al usuario

El dispositivo debe minimizar la transmisión de vibraciones mecánicas, impactos repetitivos y sacudidas generadas durante su uso o desplazamiento en terreno agrícola, con el fin de reducir la fatiga física, la incomodidad postural y el riesgo de micro trauma acumulativo durante la recolección manual de algodón.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes no siempre consideran la absorción de impactos ni la reducción de vibraciones generadas por superficies irregulares, ruedas inadecuadas o deficiencias estructurales,

transmitiendo estas cargas al usuario durante la tarea.

Problema que resuelve

Durante la recolección manual de algodón, el desplazamiento y operación del dispositivo sobre terreno irregular puede generar vibraciones e impactos repetidos que afectan manos, miembros superiores, columna y miembros inferiores, incrementando la fatiga y el **discomfort físico**.

Guía de diseño

Se recomienda emplear ruedas de material flexible, sistemas de rodadura estables, mangos con recubrimiento amortiguante y uniones estructurales firmes que disminuyan sacudidas durante el desplazamiento. El sistema debe adaptarse a irregularidades del terreno sin transmitir impactos excesivos al trabajador.

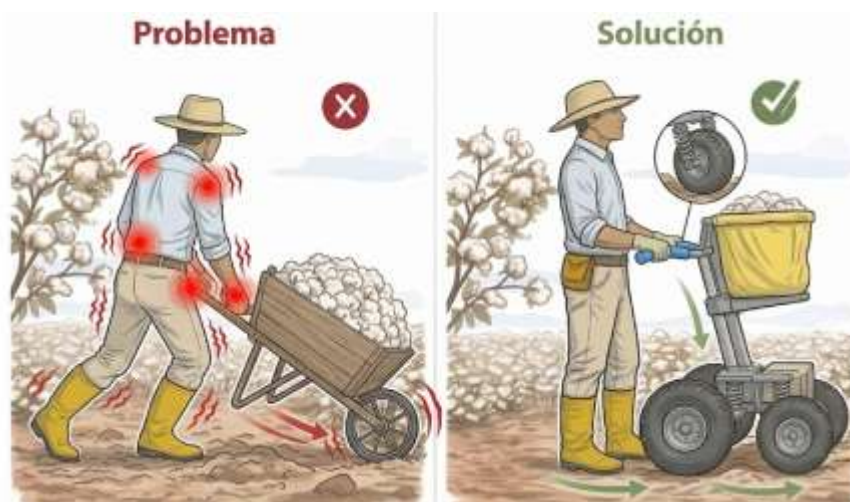


Figura B7. Alta transmisión de impactos vs operación amortiguada del dispositivo en terreno agrícola durante la recolección manual de algodón

Fundamento de los lineamientos biomecánicos

La biomecánica ocupacional establece que el mantenimiento de posturas cercanas a la neutralidad reduce la demanda muscular y la carga articular durante tareas repetitivas. En este sentido, posiciones extremas de flexión, inclinación lateral o rotación del tronco y cuello incrementan las fuerzas compresivas sobre la columna vertebral, especialmente en regiones cervical y lumbar.

Por ello, los lineamientos LB1 priorizan configuraciones de diseño que favorezcan alineación postural y menor sobrecarga estructural.

En el miembro superior, elevaciones sostenidas del hombro, abducción del brazo, desviaciones de muñeca y esfuerzos repetitivos se asocian con mayor riesgo de fatiga y trastornos musculoesqueléticos. De acuerdo con criterios empleados por métodos como RULA y JSI, las tareas deben desarrollarse dentro de zonas funcionales de movimiento y con agarres que reduzcan la tensión muscular. Bajo este enfoque se sustentan los lineamientos LB2 y LB3.

Respecto a los miembros inferiores, la bipedestación prolongada, la flexión repetitiva de rodillas y cadera, así como los apoyos inestables sobre terreno

irregular, aumentan la fatiga muscular y comprometen el equilibrio postural. Por ello, los lineamientos LB4 promueven una base de soporte estable, desplazamiento seguro y posturas funcionales durante la labor agrícola.

La manipulación de cargas y el desplazamiento del dispositivo también representan una fuente importante de exigencia física. Altas fuerzas de empuje o arrastre incrementan la demanda sobre hombros, espalda y piernas, especialmente cuando existen superficies irregulares o mala distribución del peso. En consecuencia, los lineamientos LB5 y LB6 priorizan la reducción del esfuerzo requerido, la maniobrabilidad y la distribución simétrica de cargas.

Finalmente, la exposición repetida a vibraciones mecánicas, impactos y sacudidas generadas por el terreno o por deficiencias estructurales del dispositivo puede generar incomodidad física, fatiga acumulativa y micro trauma. Por ello, el lineamiento LB7 incorpora criterios de amortiguación, estabilidad estructural y reducción de transmisión mecánica al usuario.

En conjunto, estos fundamentos biomecánicos, respaldan la formulación de lineamientos orientados a reducir la carga física del trabajador, sin sustituir su rol productivo, favoreciendo condiciones más seguras, eficientes y ergonómicamente adecuadas, en la recolección manual de algodón.

Lineamientos de funcionalidad (LF)

Los lineamientos de funcionalidad se utilizan para valorar la capacidad del dispositivo para cumplir con eficacia su propósito dentro de la recolección manual del algodón, teniendo en cuenta su desempeño en condiciones reales de uso. Estos criterios abordan aspectos como el cumplimiento de la función, versatilidad, resistencia, durabilidad, mantenimiento, calidad de acabados y estabilidad durante la operación.

Su aplicación asegura que el dispositivo satisfaga las exigencias del entorno agrícola, propiciando un funcionamiento confiable, continuo y seguro. Los lineamientos de funcionalidad no deben entenderse de manera aislada, sino como un sistema integrado que asegura la viabilidad técnica, operativa y práctica del dispositivo en el contexto de trabajo.

Referentes metodológicos utilizados en la formulación de los lineamientos de funcionalidad

La elaboración de los lineamientos de funcionalidad se basa en principios de diseño de producto e ingeniería, dirigidos a asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo en condiciones reales de uso.

Estos referentes incluyen criterios relacionados con la funcionalidad, resistencia, durabilidad, mantenimiento, estabilidad y comportamiento del sistema, los cuales permiten evaluar la capacidad del dispositivo para cumplir su propósito dentro del proceso de recolección manual de algodón.

Estos elementos no se emplean como instrumentos de medición directa dentro del estudio, sino como bases técnicas para orientar la definición de criterios aplicables al diseño del dispositivo.

Tabla 4. Referentes utilizados en la formulación de los lineamientos de funcionalidad y su aplicación principal

Referente	Aplicación principal en los lineamientos
Ingeniería de diseño de producto	Definición de funcionalidad, desempeño y requisitos técnicos
Principios de diseño industrial	Configuración formal, acabados y percepción de calidad
Ingeniería de materiales	Resistencia, durabilidad y comportamiento estructural
Mantenimiento centrado en el usuario	Facilidad de limpieza, reparación y conservación
Diseño para el uso en contexto (entorno agrícola)	Adaptación a condiciones reales de operación
Seguridad en el diseño de productos	Prevención de riesgos durante el uso

Nota. Referentes técnicos empleados como base para la formulación de los lineamientos de funcionalidad del estudio

LF1. Funcionalidad general del dispositivo

El dispositivo debe cumplir de manera efectiva la función para la cual fue diseñado, garantizando su capacidad de apoyar la recolección manual de algodón sin sustituir el rol del trabajador y manteniendo un desempeño adecuado en condiciones reales de uso.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes pueden presentar limitaciones en el cumplimiento de su función principal, afectando su

utilidad real en el contexto de trabajo agrícola.

Problema que resuelve

Algunos dispositivos no logran integrarse adecuadamente al proceso de recolección, generando ineficiencia, incomodidad o abandono de su uso por parte del trabajador.

Guía de diseño

Se recomienda diseñar el dispositivo en función de las actividades reales de recolección, asegurando compatibilidad con los movimientos, tiempos y dinámica de trabajo del usuario.

LF2. Versatilidad del dispositivo

El dispositivo debe permitir su uso en distintas condiciones y escenarios de trabajo, manteniendo su funcionalidad en la recolección manual de algodón, con el fin de adaptarse a las variaciones del entorno, del usuario y de la tarea.

LU6 aborda la facilidad de desplazamiento y manejo del dispositivo por parte del usuario; LF2 aborda la capacidad funcional del dispositivo para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos actuales pueden tener limitaciones para adaptarse a distintas condiciones de uso, como cambios en el terreno, posturas del trabajador o dinámicas del cultivo.

Problema que resuelve

Esta falta de versatilidad puede limitar el uso del dispositivo a condiciones específicas, lo que reduce su utilidad, eficiencia y aceptación por parte del trabajador en situaciones reales de trabajo.

Guía de diseño

Se sugiere diseñar el dispositivo con la capacidad de adaptarse a diferentes escenarios de trabajo, incluyendo ajustes, configuraciones o componentes que permitan su uso en diversas condiciones sin que afecte a su funcionalidad.

LF3. Resistencia del dispositivo

El dispositivo debe soportar los esfuerzos mecánicos a los que se verá sometido durante la recolección manual de algodón, incluyendo cargas, impactos, fricción y uso continuo, manteniendo su integridad estructural y su funcionamiento seguro.

Este lineamiento se refiere al comportamiento estructural del dispositivo en su conjunto como sistema durante su uso.

Vacío identificado en el mercado

Los equipos existentes pueden presentar fallas estructurales o agotamiento prematuro debido a que no se han considerado las condiciones reales de uso en entornos agrícolas.

LF4. Durabilidad del dispositivo

El dispositivo debe mantener su funcionamiento y desempeño en el tiempo bajo condiciones reales de uso durante la recolección manual de algodón, garantizando una vida útil adecuada sin pérdida significativa de funcionalidad.

En LF4 se trata la durabilidad funcional del dispositivo, mientras que en LM3 se considera la durabilidad propia de los materiales frente al uso, la humedad, la radiación solar, el polvo y el desgaste.

Problema que resuelve

La poca resistencia del dispositivo puede provocar deformaciones, roturas o fallos en su uso, lo que afecta la seguridad del trabajador, la continuidad de la tarea y la vida útil del producto.

Guía de diseño

Se recomienda seleccionar los materiales y sistemas constructivos apropiados que soporten las condiciones de uso agrícola, teniendo en cuenta factores como resistencia mecánica, desgaste, humedad, suciedad y continua manipulación.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes pueden presentar deterioro prematuro debido al uso continuo, exposición a condiciones ambientales y desgaste de sus componentes, lo que afecta su vida útil.

Problema que resuelve

La poca durabilidad del dispositivo puede producir fallas repetidas, necesidad de reemplazarlo con frecuencia y aumento de los costos, y también puede interrumpir la continuidad de la tarea.

Guía de diseño

Se aconseja usar materiales resistentes al desgaste, sistemas constructivos robustos y componentes que conserven su funcionamiento en condiciones ambientales como humedad, polvo, exposición al sol y uso prolongado.

LF5. Mantenimiento preventivo del dispositivo

El dispositivo debe permitir la realización de acciones de mantenimiento preventivo básico por parte del trabajador o usuario capacitado, con el fin de conservar su funcionamiento, seguridad y vida útil, durante la recolección manual de algodón. Estas operaciones deberían ser fáciles, seguras y claras, de modo que el trabajador no deba efectuar operaciones de reparación complicadas o trabajos de reparación especializados.

Nota: *Cuando el dispositivo incorpore componentes de pesaje o registro de la producción, éstos deberán ser incluidos dentro del mantenimiento preventivo básico, considerando limpieza, revisión visual, verificación de funcionamiento y protección frente a polvo, humedad, golpes o residuos del algodón. El trabajador deberá ser capacitado para reconocer fallas sencillas o indicios de mal estado, pero no debe asumir reparaciones técnicas especializadas.*

Vacío identificado en el mercado

Algunos equipos agrícolas tienen sistemas de mantenimiento complejos que dependen de herramientas especiales, repuestos difíciles de conseguir o de la ayuda de técnicos externos. Esta situación puede limitar el uso continuo en contextos rurales y favorecer el deterioro progresivo del dispositivo.

Problema que resuelve

El no realizar el mantenimiento preventivo, puede causar que durante la jornada se presenten fallas, pérdida de funcionalidad, aumento del esfuerzo físico, riesgos para el trabajador y disminución de la vida útil del dispositivo. Además, ante la falta de orientación sobre limpieza, revisión y cuidado básico por parte del usuario, podría llegar a utilizar el dispositivo en condiciones inseguras o ineficientes.

Guía de diseño

Se recomienda que el dispositivo incorpore componentes de fácil acceso para limpieza, revisión visual, ajuste básico y lubricación, cuando proceda. Las tareas de mantenimiento preventivo deben poder ser realizadas mediante instrucciones claras, preferentemente con apoyo de pictogramas o códigos visuales. El trabajador deberá ser instruido en forma básica sobre el uso correcto del dispositivo, sobre cómo identificar las señales de deterioro, sobre la limpieza que debe realizar al final de su jornada y sobre las acciones preventivas que puede realizar sin peligro.

Las reparaciones correctivas, cambios estructurales o intervenciones técnicas complejas deben ser realizadas por personal capacitado o servicio técnico especializado.

LF6. Acabados del dispositivo

El dispositivo debe tener acabados lisos, seguros, resistentes y fáciles de limpiar, que reduzcan el riesgo de lesiones para el trabajador y favorezcan el uso adecuado del sistema durante la recolección manual de algodón.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos actuales pueden tener acabados de mala calidad, con bordes irregulares, superficies rugosas o uniones incorrectas, lo cual afecta a la seguridad, la durabilidad y la percepción del usuario.

LF7. Estabilidad del dispositivo

El dispositivo debe ser estable en uso y movimiento, evitando movimientos inesperados, volcamiento o pérdida de control, para que el usuario se sienta seguro, eficiente y confiado en la recolección manual de algodón.

El LF7 se centra en la estabilidad estructural y operativa del dispositivo; el LB4 se centra en la estabilidad corporal del trabajador durante la interacción con el dispositivo.

Vacío identificado en el mercado

Los aparatos actuales pueden mostrar inestabilidad en su uso, muy especialmente en terrenos irregulares, lo cual compromete la seguridad y dificulta su manejo.

Problema que resuelve

La inestabilidad puede producir una pérdida de control del dispositivo, aumentar el riesgo de accidentes, afectar la precisión de la tarea y generar desconfianza en el usuario.

Problema que resuelve

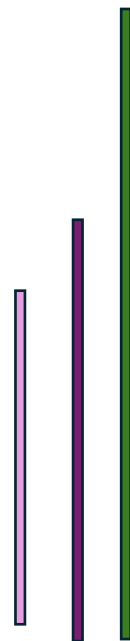
Los acabados inadecuados pueden dar lugar a riesgos de lesión (cortes, raspaduras), acumulación de suciedad, deterioro prematuro y rechazo del dispositivo por parte del usuario.

Guía de diseño

Se recomienda que los bordes, uniones, superficies de contacto, componentes expuestos sean continuos, protegidos y libres de irregularidades. Los acabados deben evitar cortes, atrapamiento, fricciones excesivas, acumulación de suciedad o desprendimiento de pieza durante su operación en el campo.

Guía de diseño

Se recomienda que el diseño del dispositivo cuente con una base estable, una adecuada distribución del peso, sistemas de apoyo eficientes y una geometría que favorezca el equilibrio durante su uso y desplazamiento.



LF8. Sistema de pesaje y registro de la producción recolectada

El dispositivo debe incluir un sistema de pesaje o registro de la producción cosechada, que permita cuantificar el algodón que se ha depositado durante la jornada, sin que el trabajador tenga que acarrear la carga sobre su cuerpo. Este sistema debe facilitar el control del peso recolectado, apoyar el proceso de pago por kilo y contribuir a la reducción de la manipulación manual de cargas excesivas.

Vacío identificado en el mercado

Los sistemas tradicionales de recolección manual dependen del uso de sacos o bultos que el trabajador carga, transporta y entrega para el pesaje final. Esta condición lo expone permanentemente a cargas excesivas y obliga al trabajador a levantar pesos elevados para comprobar su producción.

Problema que resuelve

En la recolección de algodón a mano, el obrero se paga por los kilos que recoja. Esta forma de remuneración requiere pesar o registrar la producción individual; sin embargo, en la práctica, el trabajador debe llenar, cargar, transportar y entregar sacos o bultos que pueden alcanzar entre 45 y 60 kg, exponiéndose a una alta manipulación manual de cargas.

Esta situación aumenta la carga física sobre la columna lumbar, hombros, cuello, miembros superiores e inferiores, en especial durante las labores de acarreo, carga y descarga del algodón recolectado. También, continúa exigiendo trasladar parte del peso sobre el cuerpo

del trabajador como parte del control de la producción.

De esta forma, la idea de este proyecto es resolver la necesidad de registrar la cantidad de algodón cosechada sin que el trabajador cargue grandes volúmenes directamente sobre su cuerpo, manteniendo el sistema de pago por kilogramo, pero reduciendo la exposición a cargas excesivas.

Guía de diseño

Se recomienda que el dispositivo incorpore un sistema de pesaje o registro acumulador del algodón recolectado, preferentemente integrado al contenedor, depósito, carrito o sistema de acopio del dispositivo. Este sistema puede ser mecánico, digital o mixto, siempre que sea resistente, de fácil lectura, sencillo de usar y compatible con las condiciones del campo.

El sistema debe permitir identificar la cantidad de algodón recolectado por el trabajador, registrar el peso acumulado durante la jornada y facilitar la descarga del material sin exigir levantamientos manuales.

El sistema de pesaje, cuando se utilice como base para el pago por kilogramo, deberá garantizar la confiabilidad, trazabilidad y verificación del dato registrado, evitando errores que puedan afectar al trabajador o al empleador.

Fundamento de los lineamientos de funcionalidad

En ingeniería de diseño, se entiende por funcionalidad de un producto la capacidad que éste tiene para cumplir eficazmente el propósito para el cual fue creado, manteniendo un desempeño adecuado en condiciones reales de uso. En ese sentido, el dispositivo asistido debe responder de forma coherente a las exigencias de la recolección manual de algodón, integrándose al proceso sin interferir negativamente en la dinámica de trabajo.

La versatilidad se refiere a la aptitud del dispositivo para ajustarse a distintos escenarios, usuarios y condiciones ambientales, algo indispensable en contextos agrarios marcados por gran variabilidad. La resistencia y la durabilidad, por su parte, aseguran que el dispositivo pueda soportar las condiciones de uso y continúe funcionando con el paso del tiempo, evitando deterioros prematuros o fallas estructurales.

El mantenimiento es una pieza clave en entornos rurales, donde los usuarios necesitan soluciones prácticas que no dependan de herramientas complejas ni

de asistencia técnica especializada. En este sentido, el diseño debe facilitar la limpieza, el ajuste y la reparación sencilla del dispositivo.

De manera complementaria, el sistema de pesaje y registro de la producción recolectada fortalece la funcionalidad del dispositivo, al permitir el control de los kilogramos recolectados sin exigir al trabajador el transporte corporal directo de bultos pesados. Este criterio favorece la continuidad del sistema de pago por kilogramo y contribuye a reducir la manipulación manual de cargas.

Los acabados del producto influyen tanto en la seguridad como en la percepción de calidad, ya que una superficie adecuada, bordes seguros y uniones firmes reducen los riesgos de lesión y mejoran la aceptación del dispositivo. Por último, la estabilidad garantiza el control del sistema mientras se está utilizando y se está desplazando, especialmente en terrenos irregulares, lo cual contribuye a la seguridad y la eficiencia del trabajador. En conjunto, estos fundamentos permiten establecer criterios de diseño orientados a garantizar un dispositivo funcional, seguro y adecuado para su implementación en condiciones reales de recolección manual del algodón.



Lineamientos de usabilidad (LU)

Las normas de usabilidad permiten evaluar la facilidad de uso, la interacción y la experiencia del usuario con el dispositivo en el proceso de recolección manual de algodón. Estos criterios consideran aspectos tales como la comprensión del uso, la eficiencia en la realización de la tarea, la seguridad en la interacción, el confort, la transportabilidad y la adaptabilidad desde el punto de vista del usuario.

Su aplicación ayuda a reducir la carga cognitiva, a mejorar la interacción usuario-producto y a facilitar la aceptación y el uso adecuado del dispositivo en condiciones reales de trabajo. Los lineamientos de usabilidad no deben entenderse de forma aislada sino como un sistema orientado a optimizar la experiencia del usuario y facilitar la incorporación del dispositivo en el contexto laboral.

Referentes metodológicos para formulación de los lineamientos de usabilidad

Los lineamientos de usabilidad se plantean sobre la base de los principios de ergonomía cognitiva, diseño centrado en el usuario e interacción humano-sistema, con la finalidad de facilitar la comprensión, el uso y la experiencia del usuario con el dispositivo.

Estos referentes comprenden criterios relacionados con la facilidad de uso, eficiencia, seguridad en la interacción, confort, transportabilidad y adaptabilidad, que permiten optimizar la relación entre el usuario y el dispositivo en condiciones reales de trabajo.

Estos elementos no se utilizan como instrumentos de medida directa en el estudio sino como fundamentos técnicos para orientar la formulación de criterios aplicables al diseño del dispositivo.

Tabla 5. Referentes utilizados en la formulación de los lineamientos de usabilidad y su aplicación principal

Referente	Aplicación principal en los lineamientos
ISO 9241 (Ergonomía de la interacción humano-sistema)	Principios de usabilidad: efectividad, eficiencia y satisfacción
Diseño centrado en el usuario (UCD)	Adaptación del dispositivo a necesidades y características del usuario
Interacción humana-computador (HCI)	Diseño de interacción y control del sistema
Principios de experiencia de usuario (UX)	Percepción, aceptación y experiencia de uso
Carga cognitiva	Facilidad de comprensión y aprendizaje del dispositivo
Diseño intuitivo	Uso sin necesidad de entrenamiento complejo

Nota. Referentes técnicos empleados como base para la formulación de los lineamientos de usabilidad del estudio.

LU1. Facilidad de uso del dispositivo

El dispositivo debe ser intuitivo y fácil de usar, permitiendo que el usuario realice la tarea de recolección manual de algodón sin necesidad de entrenamiento complejo, reduciendo la carga cognitiva y facilitando su aprendizaje.

Vacío identificado en el mercado

Los aparatos ya existentes pueden resultar difíciles de entender y de utilizar y para poderlos manejar bien hace falta un largo proceso de aprendizaje o instrucciones muy complicadas.

Problema que resuelve

La baja facilidad de uso puede generar errores en la operación, aumentar el tiempo de aprendizaje y provocar rechazo del dispositivo por parte del usuario.

Guía de diseño

Se recomienda diseñar interfaces simples, controles claros y mecanismos intuitivos que permitan una interacción directa y comprensible, reduciendo la necesidad de instrucciones complejas.

LU2. Eficiencia en la ejecución de la tarea

El dispositivo debe facilitar la ejecución continua, ordenada y eficiente de la recolección manual de algodón, evitando pasos innecesarios, interrupciones frecuentes o acciones adicionales que incrementen el tiempo, el esfuerzo o la complejidad de la tarea.

Vacío identificado en el mercado

Algunos dispositivos existentes pueden requerir maniobras adicionales, cambios frecuentes de posición, interrupciones en la tarea o acciones poco prácticas que afectan la continuidad del trabajo y disminuyen la eficiencia durante la recolección.

Problema que resuelve

El uso ineficiente del dispositivo puede incrementar el tiempo necesario para la tarea, generar movimientos adicionales, aumentar el esfuerzo físico y disminuir la aceptación del sistema por parte del trabajador

Guía de diseño

Se sugiere que el dispositivo se incorpore al flujo natural de la recolección, posibilitando operaciones rápidas, continuas y sin interrupciones innecesarias. El diseño debe reducir los pasos operativos, facilitar el depósito o conducción del algodón recolectado y evitar acciones repetidas que no contribuyan directamente a la tarea.

LU3. Seguridad y adaptabilidad funcional del dispositivo

El dispositivo debe permitir un uso seguro y adaptable durante la recolección manual de algodón, considerando las condiciones variables del terreno, la altura de la planta, la distancia entre surcos, la manipulación del sistema y las diferencias entre los usuarios.

Vacío identificado en el mercado

Algunos equipos existentes presentan riesgos asociados al manejo, control o uso inadecuado, especialmente en entornos agrícolas. También pueden ser rígidos funcionalmente, lo cual limita su adaptación a distintos usuarios,

condiciones de trabajo o formas de interacción.

Problema que resuelve

La falta de seguridad y adaptación funcional puede producir accidentes, pérdida de control, uso inadecuado, sobreesfuerzos, posturas inseguras o rechazo del dispositivo durante la jornada de trabajo.

Guía de diseño

Se recomienda que el dispositivo cuente con mecanismos seguros, controles accesibles, componentes protegidos, sistemas que impidan activaciones accidentales y configuraciones que permitan adaptarse a distintas condiciones de uso, sin comprometer la estabilidad, el control y la seguridad del trabajador.

LU4. Interacción usuario–producto

El dispositivo debe propiciar una clara, controlada y predecible interacción entre el trabajador y sus partes de agarre, control, conducción o descarga, permitiendo al usuario entender y controlar sus acciones durante la recolección manual de algodón.

Se centra en la forma en que el trabajador se relaciona con el dispositivo durante la tarea: agarre, control, respuesta del dispositivo, comodidad de manipulación, retroalimentación y continuidad del movimiento.

Nota: Si el dispositivo integra un sistema de pesaje o registro de producción, la información deberá estar presentada de forma clara, visible y comprensible para

el trabajador y para el responsable del control de producción. La interacción con este sistema debe ser sencilla, evitar pasos innecesarios y permitir verificar el peso acumulado sin interrumpir significativamente la tarea.

Vacío identificado en el mercado

Algunos de los dispositivos existentes muestran controles confusos, respuestas limitadas, imprecisiones en el manejo o que el usuario no logra relacionar adecuadamente su interacción con el funcionamiento del sistema.

Problema que resuelve

Una mala interacción puede dar lugar a pérdida de control, errores durante la tarea, desconfianza en el uso del dispositivo y dificultad para mantener una operación segura y continua.

Guía de diseño

Se recomienda que los controles sean visibles, accesibles y comprensibles, que los mecanismos de respuestas a las acciones del trabajador sean predecibles. La interacción debe permitir precisión, control y confianza en el momento del agarre, la conducción, el ajuste o la descarga del dispositivo.

LU5. Confort de uso del dispositivo

El dispositivo debe proporcionar condiciones de confort durante el uso prolongado, evitando molestias percibidas por el trabajador relacionadas con presión localizada, fricción, temperatura, contacto con superficies o configuración del diseño, con el fin de favorecer su aceptación y uso continuo durante la recolección manual de algodón.

Vacío identificado en el mercado

Algunos dispositivos existentes pueden generar molestias durante el uso, asociadas al contacto con superficies,

presión localizada, temperatura de los materiales, vibración, fricción o características del diseño.

Problema que resuelve

La incomodidad puede llevar a que el usuario rechace el dispositivo, lo use de forma intermitente o lo abandone, incluso si está cumpliendo adecuadamente con su función.

Guía de diseño

Se recomienda el uso de superficies agradables al tacto, zonas de apoyo sin presiones excesivas, formas redondeadas, materiales apropiados y configuraciones que reduzcan la incomodidad en el uso prolongado del dispositivo.

LU6. Transportabilidad del dispositivo

El dispositivo debe ser fácil de transportar, manipular y desplazar dentro

del entorno de trabajo, permitiendo una mayor movilidad en la recolección manual de algodón, sin que esto genere esfuerzo innecesario o dificultad para el usuario.

LU6 aborda la facilidad de desplazamiento y manejo del dispositivo por parte del usuario; LF2 aborda la capacidad funcional del dispositivo para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes pueden ser difíciles de transportar debido a su peso, tamaño y diseño, lo que limita su uso en el entorno agrícola.

Fundamento de los lineamientos de usabilidad

La usabilidad se define como la aptitud de un sistema para ser usado por los usuarios, de forma efectiva, eficiente y satisfactoria, en un contexto de uso específico. En este sentido, el diseño del dispositivo asistido debe facilitar la comprensión de su funcionamiento, permitir una interacción clara y reducir la carga cognitiva durante la ejecución de la tarea.

La facilidad de uso se refiere a la habilidad del usuario para comprender y manejar el dispositivo sin necesidad de un entrenamiento complicado, mientras que la eficiencia se relaciona con la

Problema que resuelve

La poca portabilidad puede dificultar el traslado del dispositivo entre áreas de trabajo, causar esfuerzos adicionales y disminuir su practicidad y aceptación.

Guía de diseño

Se recomienda que el diseño del dispositivo cuente con un peso adecuado, dimensiones manejables, sistemas de agarre o transporte y características que faciliten su movilidad en condiciones reales de uso.

optimización del tiempo y el esfuerzo al realizar la tarea. La seguridad de la interacción, por su lado, asegura que el uso del dispositivo no cree riesgos por errores de manipulación o de uso.

La interacción usuario-producto es un aspecto fundamental, pues determina cuánto control, precisión y confianza tiene el usuario en el dispositivo. De igual forma, el confort de uso influye en la aceptación y permanencia en la tarea, al disminuir las molestias percibidas durante la interacción.

Su transportabilidad, seguridad y adaptabilidad funcional hacen que su integración en el entorno de trabajo sea práctica y que se pueda usar en diferentes condiciones sin perder la experiencia del usuario. Estos fundamentos, en conjunto, facilitan la definición de criterios orientados a la mejora de la experiencia de uso, a la aceptación del dispositivo y a su efectiva implementación en el contexto de la recolección manual del algodón.

Lineamientos de materiales (LM)

Los lineamientos de materiales permiten evaluar las características físicas, mecánicas y funcionales de los materiales que componen el dispositivo, tomando en cuenta su influencia en la seguridad, durabilidad, peso, costo y comportamiento durante el uso en la recolección manual de algodón. Estos criterios guían la correcta elección de materiales en función de las condiciones reales del entorno agrícola, donde factores como la humedad, la suciedad, la exposición solar y el uso continuo inciden directamente en el desempeño del producto.

Su uso ayuda a asegurar la factibilidad técnica y funcional del aparato, promoviendo la armonía entre resistencia, perdurabilidad, protección, asequibilidad económica y sostenibilidad. Juntos, los lineamientos de materiales conforman la base física del diseño, garantizando que el dispositivo responda adecuadamente a las exigencias del contexto de uso.

Referentes metodológicos para la formulación de los lineamientos de materiales

La formulación de los lineamientos de materiales se fundamenta en principios de ingeniería de materiales y diseño de producto, orientados a garantizar el adecuado comportamiento físico, mecánico y funcional del dispositivo.

Estos referentes incluyen criterios relacionados con el peso, la resistencia, la durabilidad, la seguridad, el costo y la sostenibilidad de los materiales, los cuales permiten asegurar la viabilidad del dispositivo en condiciones reales de uso.

Estos elementos no se emplean como instrumentos de medición directa dentro del estudio, sino como bases técnicas para orientar la selección y aplicación de materiales en el diseño del dispositivo.

Tabla 6. Referentes utilizados en la formulación de los lineamientos de materiales y su aplicación principal

Referente	Aplicación principal en los lineamientos
Ingeniería de materiales	Selección de materiales según propiedades físicas y mecánicas
Propiedades mecánicas de materiales	Resistencia, rigidez y comportamiento ante cargas
Diseño para manufactura (DFM)	Viabilidad de fabricación y selección de componentes
Análisis de ciclo de vida (ACV)	Evaluación del impacto ambiental de los materiales
Economía del producto	Relación costo–beneficio en la selección de materiales
Seguridad en materiales	Compatibilidad con el usuario y condiciones de uso

Nota. Referentes técnicos empleados como base para la formulación de los lineamientos de materiales del estudio

LM1. Peso del dispositivo

El dispositivo debe tener un peso adecuado que no incremente la carga física del usuario durante su uso, permitiendo su manipulación, transporte y operación sin generar fatiga adicional en la recolección manual de algodón.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos actuales pueden tener pesos demasiado elevados, lo que

dificulta manejarlos y aumenta el esfuerzo físico del usuario.

Problema que resuelve

Un peso inapropiado produce fatiga, dificulta el manejo del aparato y disminuye la eficacia en la realización de la tarea.

Guía de diseño

Se recomienda elegir materiales ligeros y resistentes, optimizar la estructura del dispositivo y evitar sobrecargas innecesarias en el diseño



LM2. Resistencia de los materiales

Los materiales elegidos para el aparato deben poseer características mecánicas apropiadas que les capaciten para resistir cargas de compresión, tracción, impacto y abrasión en el proceso de recolección manual de algodón, asegurando la conservación de su estructura.

Este lineamiento se refiere a las propiedades del material seleccionado, no al desempeño estructural global del dispositivo.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes pueden emplear materiales que tienen baja resistencia mecánica y esto genera deformaciones, fracturas o fallas durante su uso.

Problema que resuelve

La poca resistencia de los materiales puede dar lugar a fallos estructurales del dispositivo, poniendo en riesgo su funcionamiento, su seguridad y su vida útil.

Guía de diseño

Se recomienda seleccionar materiales con las propiedades mecánicas adecuadas, como alta resistencia a la compresión, tracción e impacto, compatibles con las condiciones de uso en el entorno agrícola.



LM3. Durabilidad de los materiales

Los materiales del dispositivo deben conservar sus propiedades físicas y mecánicas en el tiempo, resistir el desgaste, la fatiga y la exposición a condiciones ambientales propias de la recolección manual de algodón, garantizando una vida útil adecuada del dispositivo.

En LF4 se trata la durabilidad funcional del dispositivo, mientras que en LM3 se considera la durabilidad propia de los materiales frente al uso, la humedad, la radiación solar, el polvo y el desgaste.

LM4. Sostenibilidad de los materiales

Los materiales que se empleen en el dispositivo deben ser respetuosos con la sostenibilidad ambiental, y que promuevan el uso de materiales reciclables, reutilizables o de bajo impacto ambiental, adecuados para el contexto de recolección manual de algodón.

La sostenibilidad de los materiales debe considerarse sin comprometer la resistencia, seguridad, peso y viabilidad del dispositivo en el contexto agrícola.

Vacío identificado en el mercado

Los materiales de los dispositivos actuales pueden deteriorarse con facilidad por el uso continuado, la humedad, el polvo, la radiación solar u otras condiciones del entorno.

Problema que resuelve

El bajo nivel de durabilidad de los materiales puede dar lugar a un deterioro prematuro, a la pérdida de funcionalidad y a la necesidad de reemplazar frecuentemente el dispositivo o sus componentes.

Guía de diseño

Se recomienda elegir materiales resistentes al desgaste, a la corrosión, a la humedad y a la radiación solar, apropiados para las condiciones agrícolas y para un uso prolongado.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes pueden utilizar materiales que tienen un gran impacto ambiental, que dificultan su reciclaje o que incrementan la cantidad de residuos.

Problema que resuelve

El uso de materiales no sostenibles puede contribuir a la contaminación ambiental, aumentar la generación de residuos y limitar la viabilidad del dispositivo a largo plazo.

Guía de diseño

Se recomienda elegir materiales reciclables, reutilizables o de bajo impacto ambiental, evitando el uso de componentes que sean difíciles de separar o que dificulten su disposición final.

LM5. Costo de los materiales

Los materiales empleados en el dispositivo deben ser de bajo costo y acordes al contexto de uso, asegurando la viabilidad económica del producto, sin que esto afecte su funcionalidad, seguridad y durabilidad en la recolección manual de algodón.

El costo de los materiales debe permitir una relación equilibrada entre ergonomía, resistencia, facilidad de mantenimiento y posibilidad de adopción por pequeños y medianos productores.

Vacío identificado en el mercado

Los dispositivos existentes pueden emplear materiales de alto costo, lo que

dificulta el acceso para los usuarios en contextos rurales o de producción agrícola.

Problema que resuelve

El elevado precio de los materiales puede restringir la compra, instalación y permanencia del aparato en el entorno laboral efectivo.

Guía de diseño

Es recomendable elegir materiales disponibles en el mercado local, de bajo costo y que funcionen bien, evitando soluciones demasiado caras que no agreguen valor importante al funcionamiento del dispositivo.

LM6. Seguridad de los materiales

El dispositivo debe estar fabricado con **materiales seguros** para el trabajador y compatibles con la **calidad del algodón** recolectado, evitando el uso de componentes que puedan desprender residuos, fragmentos o elementos extraños durante la recolección, el transporte o la descarga.

Nota: *Los materiales relacionados con el sistema de acopio, pesaje o registro deben ser seguros, resistentes y compatibles con la calidad del algodón cosechado, evitando desprendimientos, fragmentos, pinturas, plásticos quebradizos, metales al descubierto, hilos, cabuyas o desechos que puedan contaminar la fibra durante la recolección, el traslado o la descarga.*

Vacío identificado en el mercado

Algunas soluciones agrícolas utilizan materiales o componentes que pueden deteriorarse, desprenderse o acumular residuos durante el uso en campo. Esta condición puede crear riesgos para el trabajador y afectar la calidad del algodón recolectado.

Problema que resuelve

La presencia de materiales extraños como plásticos frágiles, cauchos deteriorables, cabuyas, hilos, cuerdas, metales expuestos, pinturas desprendibles o residuos de componentes puede ser fuente de contaminación de la fibra de algodón y afectar su procesamiento industrial. Los materiales inseguros o de mala calidad pueden, además, producir cortes, rozaduras, atrapamientos o mal funcionamiento del dispositivo en el momento de utilizarlo.

Guía de diseño

Es recomendable elegir materiales que sean **resistentes, estables, seguros** y de baja probabilidad de desprendimiento, evitando componentes que puedan liberar fragmentos o residuos en la operación. Los materiales han de facilitar

la limpieza, soportar las condiciones del entorno agrícola y **no afectar a la calidad del algodón cosechado**. No se deben emplear cabuyas, hilos, cuerdas sueltas, plásticos frágiles, cauchos de fácil deterioro, metales sin protección o pinturas de baja adherencia que puedan desprenderse durante el uso.



Fundamento de los lineamientos de materiales

La elección de los materiales es un punto fundamental en el diseño de productos, ya que determina en alto grado el comportamiento estructural, la durabilidad, la seguridad y la funcionalidad del dispositivo. En este sentido, los materiales deben ser capaces de soportar las condiciones de uso propias de la recolección manual de algodón, que se caracterizan por exposición a cargas mecánicas, humedad, polvo, radiación solar y uso continuo.

Los materiales elegidos condicionan el peso del dispositivo, lo que influye en la carga física del usuario y la facilidad de manejo. Las propiedades mecánicas de los materiales, como su resistencia y durabilidad, por su parte, aseguran la integridad estructural del dispositivo y su comportamiento a lo largo del tiempo, evitando fallas o deterioro prematuro.

La sostenibilidad de los materiales se debe a la necesidad de disminuir el impacto ambiental del producto, fomentando el uso de materiales reciclables, reutilizables o de bajo impacto. El costo de los materiales también es un factor determinante para lograr que el dispositivo sea viable en aplicaciones del mundo real, en particular en entornos rurales.

Por último, la seguridad de los materiales asegura que el dispositivo no implique riesgos para el usuario, evitando efectos adversos derivados del contacto o la manipulación. Estos fundamentos en conjunto permiten establecer criterios de selección de materiales orientados a lograr un dispositivo funcional, seguro, duradero y viable de implementar en el contexto de la recolección manual de algodón.

Aporte e integración de los lineamientos ergonómicos

Los lineamientos formulados en el presente estudio constituyen una propuesta estructurada que va más allá de la formulación de recomendaciones aisladas, configurándose como un sistema integral de criterios orientados al diseño ergonómico de dispositivos asistidos para la recolección manual de algodón.

A diferencia de enfoques convencionales centrados únicamente en aspectos dimensionales o posturales, la presente propuesta articula de manera sistemática cinco dimensiones del diseño: antropométrica, biomecánica, funcional, de usabilidad y de materiales, permitiendo abordar de forma integral la interacción entre el trabajador, el dispositivo y el entorno de trabajo.

Esta integración permite identificar tanto los problemas relacionados con la carga física del trabajador como proponer soluciones aplicables que se ajusten a las condiciones reales del contexto agrícola, que se caracteriza por la variabilidad del terreno, altas exigencias físicas y limitaciones en el acceso a tecnologías complejas.

El principal aporte del estudio es la construcción de una herramienta metodológica aplicada, que se generó a partir de un proceso estructurado que comprendió el análisis ergonómico de las condiciones de trabajo, la revisión de soluciones existentes y la formulación de criterios técnicos. Esta herramienta orienta el diseño, evaluación y mejora de dispositivos asistidos, facilitando la toma de decisiones basadas en criterios ergonómicos y de diseño en contextos reales de uso.

De igual forma, los lineamientos incorporan de manera transversal principios de diseño universal, favoreciendo la accesibilidad y adaptación a una población usuaria diversa, así como criterios asociados a las Buenas Prácticas Agrícolas, contribuyendo a la mejora de las condiciones de trabajo y la sostenibilidad del proceso productivo.

De igual manera, la integración de referentes metodológicos reconocidos internacionalmente, como los *Ergonomic Checkpoints in Agriculture* de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), junto con métodos de evaluación ergonómica como RULA, REBA, NIOSH y JSI, fortalece el sustento técnico de los lineamientos y su pertinencia dentro del campo de la ergonomía aplicada.

En conjunto, los lineamientos propuestos no solo orientan el diseño de un dispositivo específico, sino que constituyen una base transferible para el desarrollo de soluciones ergonómicas en otros contextos agrícolas y actividades que impliquen demandas físicas similares, ampliando su alcance y contribución al campo de la ergonomía y el diseño aplicado.

Agradecimientos

Doy gracias a Dios por permitirme llegar hasta este punto, porque sin Él nada de esto hubiera sido posible. Gracias por darme la oportunidad de estudiar esta Maestría en Ergonomía y Diseño Universal, la cual me abrió las puertas para descubrir habilidades, fortalezas y conocimientos que me han permitido crecer tanto personal como profesionalmente.

Agradezco también a mis docentes, asesores y los evaluadores expertos, porque sin su apoyo y acompañamiento este logro no habría sido posible. Asimismo, agradezco a la Universidad El Bosque y a la Universidad del Sinú por brindarme los espacios y herramientas necesarias para mi formación.

A mi familia, especialmente a mi madre, porque hoy puedo decir que su esfuerzo y su cosecha están dando frutos.

Y, por último, pero no menos importante, dedico este logro a mi esposo, Nelson Arley Ceballos Marín, quien ha sido mi guía, mi apoyo y mi motor para llegar hasta aquí. ♥

