

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.

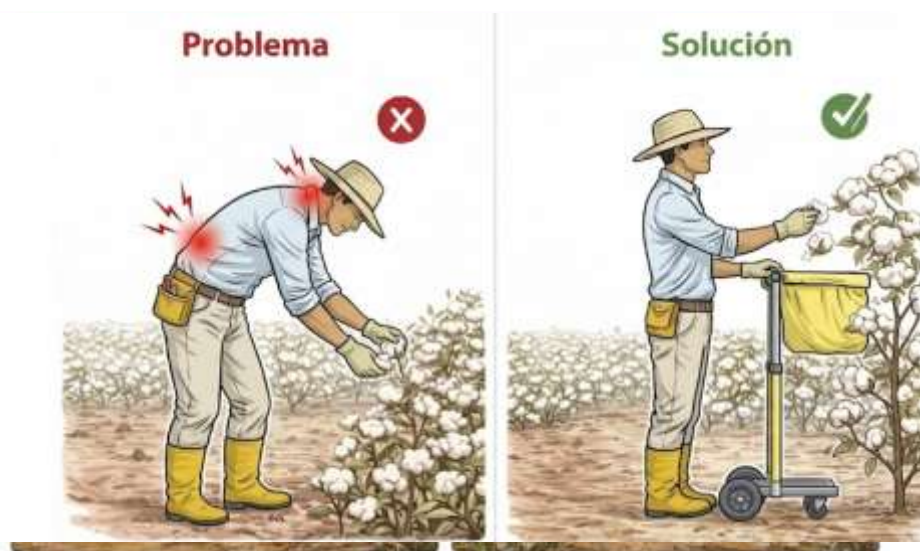


Figura B1.
Postura
inadecuada vs
postura
ergonómica
del tronco y
cuello durante
la recolección
manual de
algodón

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.

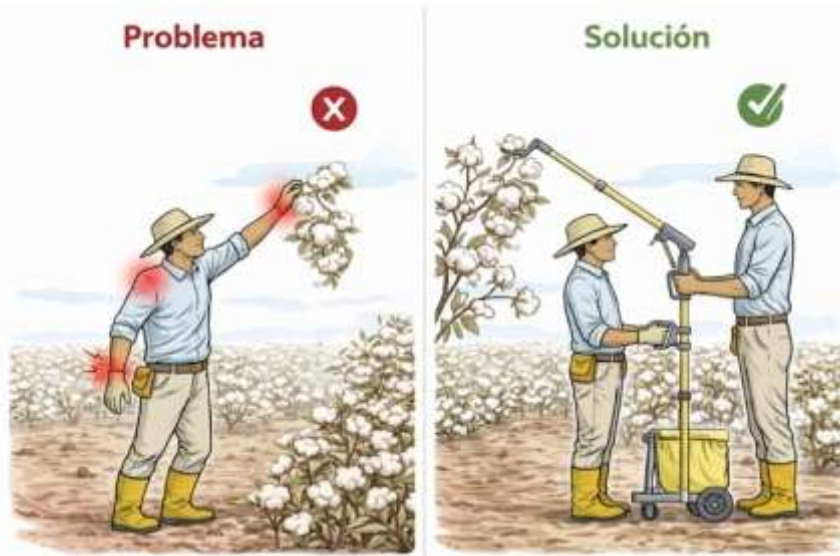


Figura B2. Postura inadecuada vs postura ergonómica del miembro superior durante la recolección manual de algodón

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.

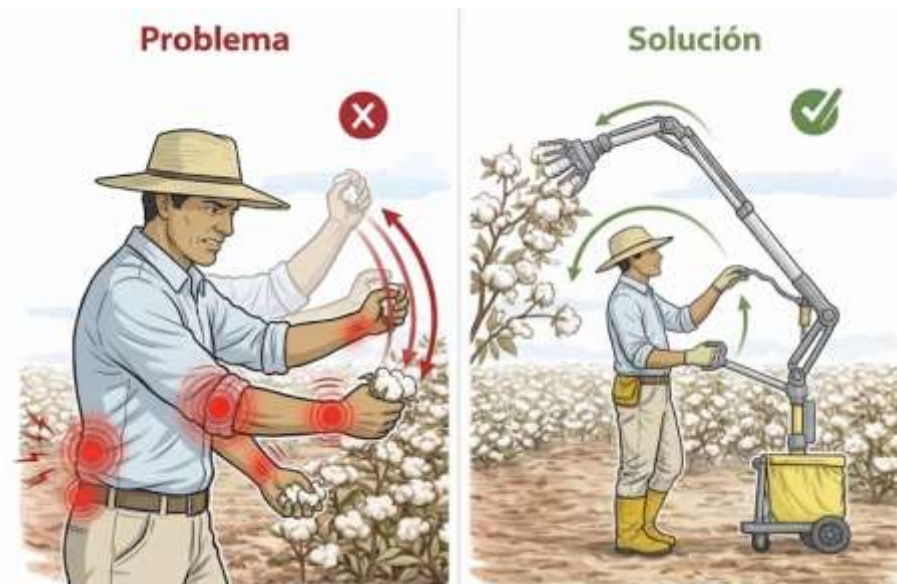


Figura B3. Alta repetición de movimientos vs operación ergonómica con menor demanda repetitiva durante la recolección manual de algodón

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.

El lineamiento LF7 se centra en la estabilidad estructural y operativa del dispositivo; el lineamiento 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.

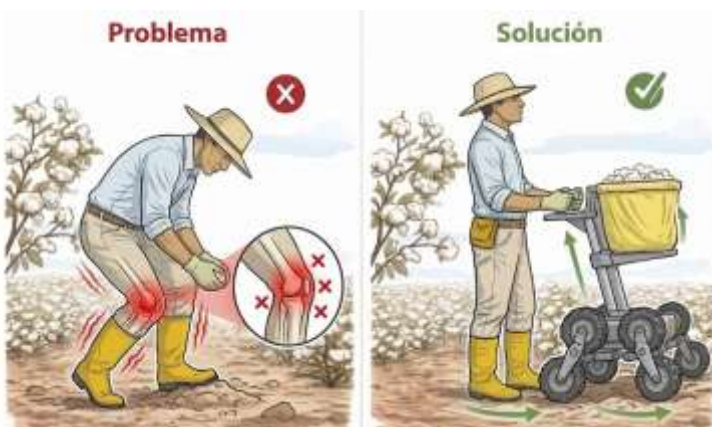


Figura B4. Postura inestable vs postura ergonómica de miembros inferiores durante la recolección manual de algodón

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.

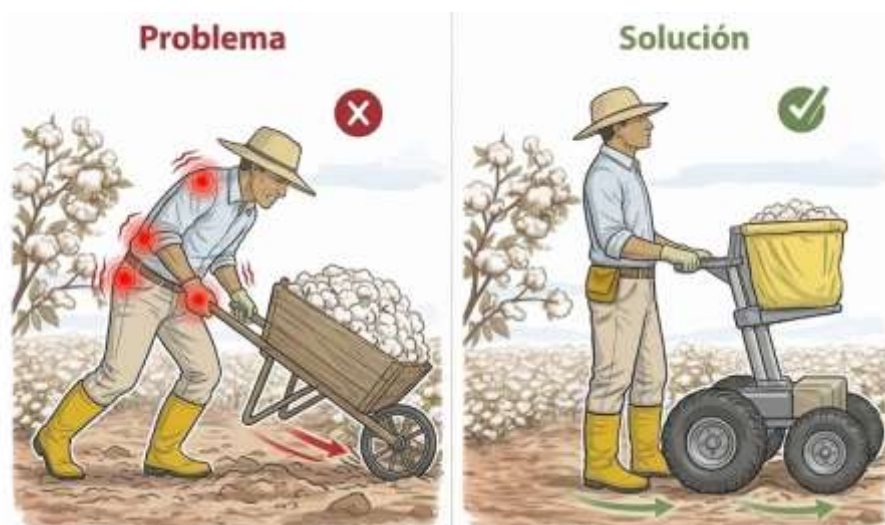


Figura B5. Alto esfuerzo de empuje/arrastre vs desplazamiento ergonómico del dispositivo durante la recolección manual de algodón

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 en un solo lado, obligando al 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 microtrauma 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 amortiguador y uniones estructurales firmes que disminuyan sacudidas durante el desplazamiento. El sistema debe adaptarse a irregularidades del terreno sin transmitir impactos excesivos al trabajador.

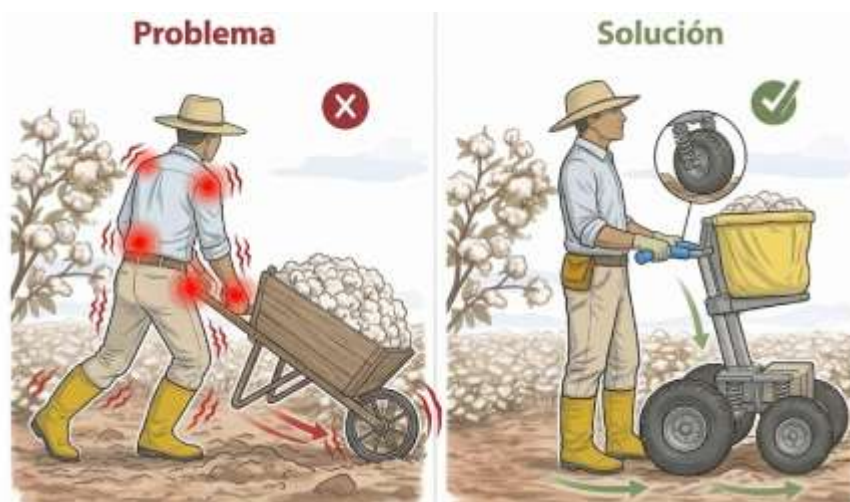


Figura B7. Alta transmisión de impactos vs operación amortiguada del dispositivo en terreno agrícola durante la recolección manual de algodón

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 microtrauma. 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.