



Vendedora de periódicos.

León Ruiz (1933)

Crédito: Biblioteca Pública Piloto de Medellín,  
(Colección Patrimonial, archivo fotográfico).

## Metodología ergonómica para el desarrollo tecnológico agrícola de una herramienta manual: caso de estudio azadón

Silvia Mantilla<sup>1</sup>,  Fernanda Maradei<sup>2</sup>, 

<sup>1</sup> Magister en Ingeniería Industrial. Universidad Industrial de Santander Colombia. smantini@correo.uis.edu.co

<sup>2</sup> Doctora en ingeniería línea ergonomía. Universidad Industrial de Santander Colombia. mafermar@uis.edu.co

Volumen 42, 2023

DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.e355971>

Recibido: 20/02/2024

Aprobado: 16/06/2024

Publicado: 26/08/2024

### Cita:

Mantilla S, Maradei F. Metodología ergonómica para el desarrollo tecnológico agrícola de una herramienta manual: caso de estudio azadón. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2024;42:e355971  
doi: <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.e355971>

## Resumen

**Objetivo:** Mostrar la metodología de codiseño utilizada para el desarrollo de una herramienta manual para el campo, donde su eje central es la comprensión e inclusión de las necesidades y los deseos de los usuarios, con la finalidad de propiciar la transferencia tecnológica desde la concepción del producto.

**Metodología:** El proceso de codiseño aplicado consta de ocho etapas prácticas de creación, con trabajo conjunto sincrónico y asincrónico, en escenarios presenciales y plataformas virtuales. 143 campesinos participaron durante el desarrollo de la herramienta.

**Resultados:** Además de la metodología de codiseño para el desarrollo de la herramienta manual de la mano de los campesinos, muestra el estudio propuesto del azadón doble propósito, donde el proyecto encontró que esta nueva propuesta tenía una mejor calidad ergonómica, al reducir el riesgo asociado a carga postural y una mejor percepción de comodidad.

**Conclusión:** El principal hallazgo está el involucrar a los usuarios desde las primeras etapas de un proceso de desarrollo tecnológico; esto permite un correcto entendimiento de las necesidades y los deseos con relación al desempeño de su actividad laboral. El estudio también muestra que es posible mitigar los factores de riesgo y al hacerlo, concebir una herramienta mucho más cómoda y con mejores características de calidad ergonómica.

-----*Palabras clave:* ergonomía, diseño de equipos, seguridad y salud en el trabajo, tecnología agrícola.



Check for updates



© Universidad de Antioquia

Esta obra se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

\* Trabajo de grado de Maestría “Descriptores ergonómicos en herramientas manuales de uso general tipo azadón, que contemplen aspectos de comodidad e incomodidad, postura y carga física”, Universidad Industrial de Santander, diciembre 2024. Proyecto: “Desarrollo de la agroindustria de plantas aromáticas y sus derivados como agente del progreso tecnológico, económico y social del campo santandereano – Santander”. SGR BPIN 2018000100044. Código interno UIS: 8883.

## Ergonomic methodology for agricultural technological development of a hand tool: hoe case study

### Abstract

**Objective:** To show the co-design methodology used for the development of a hand tool for the field, where the central axis is the understanding and inclusion of the needs and desires of the users, in order to promote technology transfer from the conception of the product.

**Methodology:** The applied co-design process consists of eight practical stages of creation, with synchronous and asynchronous joint work, in face-to-face scenarios and virtual platforms. 143 farmers participated during the development of the tool.

**Results:** In addition to the co-design methodology for the development of the farmers' hand tool, it shows the proposed study of the dual-purpose hoe, where the project found that this new proposal had a better ergonomic quality, by reducing the risk associated with postural load and a better perception of comfort.

**Conclusion:** The main finding is the involvement of users from the early stages of a technological development process; this allows a correct understanding of their needs and desires in relation to the performance of their work activity. The study also shows that it is possible to mitigate risk factors and in doing so, to conceive a much more comfortable tool with better ergonomic quality characteristics.

-----*Keywords:* Farmers, Ergonomics, Equipment Design, Job Satisfaction, Subject Headings.

## Metodologia ergonômica para o desenvolvimento tecnológico agrícola de uma ferramenta manual: estudo de caso da enxada

### Resumo

**Objetivo:** Mostrar a metodologia de co-design utilizada para o desenvolvimento de uma ferramenta manual para o campo, em que o eixo central é a compreensão e a inclusão das necessidades e dos desejos dos usuários, com o objetivo de promover a transferência de tecnologia desde a concepção do produto.

**Metodologia:** O processo de co-design aplicado consiste em oito etapas práticas de criação, com trabalho conjunto síncrono e assíncrono, em cenários presenciais e plataformas virtuais. Participaram 143 agricultores durante o desenvolvimento da ferramenta.

**Resultados:** além da metodologia de co-design para o desenvolvimento da ferramenta manual do agricultor, mostra-se a proposta de estudo da enxada de duplo propósito, em que o projeto constatou que essa nova proposta apresentou melhor qualidade ergonômica, pela redução do risco associado à carga postural e melhor percepção de conforto.

**Conclusão:** A principal constatação é o envolvimento dos usuários desde os estágios iniciais do processo de desenvolvimento de uma tecnologia, o que permite uma correta compreensão de suas necessidades e desejos em relação ao desempenho de sua atividade de trabalho. O estudo também mostra que é possível mitigar os fatores de risco e, ao fazê-lo, conceber uma ferramenta muito mais confortável com recursos de melhor qualidade ergonômica.

-----*Palavras-chave:* Fazendeiros, Descritores, Desenho de Equipamento, Ergonomia, Satisfação no Emprego.

## Introducción

El trabajo agrícola manual son tareas desarrolladas en el sector rural, con el propósito de cultivar la tierra, que incluye actividades como la preservación de semillas, la siembra, el control de arvenses y plagas, la recolección de los productos, la trilla y el manejo manual de materiales, donde se enfatiza en la participación humana dentro de las operaciones agrícolas [1]. Según la Organización Internacional del Trabajo, dentro de los riesgos ergonómicos por las demandas físicas de la actividad laboral agrícola se encuentran: el uso inadecuado de las diferentes herramientas y equipos, las posturas estáticas prolongadas, las posiciones corporales inadecuadas, el transporte de carga pesada, los trabajos repetitivos y los horarios laborales demasiado largos, entre otros [2].

Se sabe que existe una alta prevalencia de enfermedades laborales asociadas al trabajo en el sector agricultor [3], entre otras causas, por la alta demanda de carga física a partir de la interacción directa del operario con la tierra, lo cual implica el constante uso de esfuerzo físico en conjunto con la utilización de herramientas manuales [4]. Lo anterior resalta la importancia de abordar este tipo de problemáticas y de brindar soluciones oportunas a los trabajadores, con el propósito de mitigar riesgos que pueden desencadenar el desarrollo de desórdenes musculoesqueléticos, el tipo más común de lesión y enfermedad ocupacional en todo el mundo [5].

Colombia es un país con un alto potencial en la agricultura, donde, según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, para febrero de 2022 había 3 128 000 personas ocupadas en labores de la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, personas con una alta exposición a riesgos laborales y lesiones relacionadas con el trabajo [6]. Por su parte, el Consejo Colombiano de Seguridad y el Observatorio de la Seguridad y Salud en Colombia muestra que, en el primer semestre de 2022, este sector ocupa el segundo lugar en accidentes de trabajo, por debajo del sector de minas y canteras, y el segundo en enfermedades laborales [7]. Cabe resaltar que esto es únicamente para trabajadores formales afiliados al Sistema General de Riesgos Laborales; sin embargo, se cree que esta cifra es mucho mayor, ya que se estima que la tasa de informalidad rural es del 83,6 % en el 2023 [8]. Asimismo, se debe tener en cuenta que uno de los factores que influyen en el aumento de las enfermedades laborales en el sector agrícola obedece a las características de las herramientas usadas, ya que en su mayoría aún son de tipo tradicional.

Dentro del sector agrícola se encuentra la cadena de plantas aromáticas, que ha venido presentando un crecimiento sostenido en las exportaciones de Colombia. Según cifras de Procolombia, durante el periodo de enero a mayo de 2023, este sector específico superó los

USD 22,4 millones, lo cual implica un crecimiento del 2 % respecto a lo registrado en el mismo periodo en 2022 [9]. Lo anterior en parte es gracias a que Colombia ocupa el tercer país entre las naciones más biodiversas del mundo, debido a que tiene una ubicación geográfica privilegiada, con favorables condiciones climáticas, por su amplia variabilidad de pisos térmicos y microclimas, lo cual permite que a lo largo del año se cultiven más de 200 especies de plantas aromáticas, caracterizadas por su calidad, aroma, sabor y color [10]. En este contexto se encuentra el departamento de Santander, ubicado al noreste del país, en la región andina, con un complejo sistema de valle y montaña, que hace parte de la cadena de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines.

El cultivo de plantas aromáticas como *Cymbopogon martini*, *Cymbopogon nardus*, *Lippia origanoides*, *Pogostemon cablin*, *Rosmarinus officinalis* L., *Thymus vulgaris* L., entre otras, requiere el mantenimiento de sus cultivos cada 15 días por medio de aporque (soltar y mover la tierra hacia la base de la planta) y el control de arvenses con una herramienta que le permita a los usuarios su portabilidad en terrenos montañosos, alta maniobrabilidad por parte del operario sin que lesione las plantas, para extraer las que les compiten a estas por medio de arrastre superficial. El instrumento que suple estas necesidades es el azadón, constituido por un cabo principalmente hecho en madera, unido por una de sus puntas a un aro del que sale una hoja metálica, con una alta variabilidad en el largo de su cabo y en la forma de su hoja.

Para el desarrollo tecnológico en la agricultura se usan diferentes metodologías, pero cada vez es más común utilizar aquellas donde se incluyen diversos actores en los procesos de innovación, tanto en la colaboración como en aquellos donde se involucra el desarrollo de soluciones en espacios de cocreación, para hacerles frente a los problemas sociales de alta complejidad [11]. De esta manera, en los últimos años han crecido el número de metodologías basadas en estrategias para la generación de actividades conjuntas entre los actores, tales como el diseño centrado en el usuario (User Centered Design), el diseño centrado en el humano (Human Centered Design), el Design Thinking y el Farmer-Center Design, donde la inclusión efectiva de los campesinos en los procesos de diseño se logra si se seleccionan los enfoques correctos de codiseño, en función de las posibilidades o capacidades de los usuarios [12]. Así, el Design Thinking o pensamiento de diseño es una de las más populares. Nació en los años ochenta como una forma nueva para crear productos y tecnologías; sin embargo, actualmente su potencial está en la capacidad que tiene para resolver problemas de manera efectiva y eficiente, ya que prioriza las necesidades de los usuarios sobre

otros aspectos. De esta manera, la principal característica del pensamiento de diseño es que está centrado en el ser humano y difiere de los métodos tradicionales al no tener un proceso lineal, ni secuencial [13].

Con base en lo anterior, el diseño de productos es una disciplina transversal que requiere del diseño y la ergonomía como catalizadores para llegar a comprender mejor las necesidades y los deseos de los usuarios [14,15]. Para innovar es necesario guiarse por ambos aspectos, dos términos que tienen connotaciones diferentes: según Donald Norman, las *necesidades* es lo que requiere la persona, mientras que los *deseos* es lo que ellos consideran necesario. Por tanto, según Norman, un objeto bien diseñado no solo tiene como propósito satisfacer una necesidad funcional por la cual es concebido, también debe despertar el deseo del usuario por utilizarlo y conservarlo. Así, los deseos están ligados a la cultura, la imagen, el grupo social y la educación de las personas, entre otros aspectos sociales, y son tan importantes como las necesidades mismas [16].

Por tanto, Gatsi sugiere que es necesario comprender la lógica detrás del comportamiento tradicional de los pequeños campesinos al usar las innovaciones, lo cual haría más eficiente los desarrollos tecnológicos futuros [17]. Lograr un balance entre los principios y la práctica, entre las necesidades, las capacidades físicas y socioeconómicas de los campesinos [18], y que se tengan presente sus deseos, propicia la aceptación, adopción y satisfacción de nuevos productos con características innovadoras.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace importante conocer las demandas y capacidades musculoesqueléticas de los campesinos, que ha provocado el deterioro de su salud por el uso de herramientas manuales no acordes con la antropometría y las características propias de su actividad laboral.

En ese sentido, este trabajo muestra la metodología de codiseño aplicada para el desarrollo de una herramienta manual con características ergonómicas.

La evidencia muestra que existen efectos positivos al implementar soluciones de diseño basadas en resultados científicos. En este caso, cuando se incluyen parámetros ergonómicos que luego se traducen en una mayor productividad para la industria [19], como, por ejemplo, realizar estudios para identificar e incorporar descriptores ergonómicos asociados a la comodidad para cada tipo de herramienta manual [20].

El artículo muestra un proceso metodológico que facilita la concepción del producto con actividades prácticas sincrónicas y asincrónicas, que involucra a los usuarios, y su posterior transferencia tecnológica, haciendo eco en la afirmación: “las soluciones se desarrollan mejor cerca de donde se implementan” [21]. Se espera que a partir de esta propuesta se pueda replicar el proceso metodológico para el estudio de diversas activi-

dades laborales en contextos específicos y el desarrollo de nuevas herramientas que respondan a las demandas de los campesinos.

## Metodología

El proceso de codiseño aplicado consta de ocho etapas prácticas de creación, con trabajo conjunto sincrónico y asincrónico, en escenarios presenciales y plataformas virtuales.

La metodológica empleada se basa en un proceso de diseño participativo, enfocado en la comprensión de las necesidades y los deseos de los usuarios. La participación de los campesinos se hace fundamental desde la primera etapa del proceso de diseño, con el propósito de propiciar la transferencia tecnológica desde la concepción del producto mismo.

Se constituye un muestreo intencional de tipo no probabilístico y no pareado. Se contempló 143 participantes en las diversas etapas del estudio, entre hombres y mujeres mayores de 18 años, sin patologías diagnosticadas asociadas al tronco ni miembros superiores. Son trabajadores agrícolas con conocimiento y experiencia en el uso de herramientas manuales de tipo azadón.

Este proceso utilizó ambientes híbridos, durante la labor de preparación y mantenimiento de cultivos de plantas aromáticas, actividad que utiliza herramientas manuales de tipo azadón.

La investigación siguió los lineamientos de la Declaración de Helsinki [22], el reporte de Belmont [23] y la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia [24], donde se especificaba el propósito de la prueba, la forma que se desarrollaría, los derechos de declinar su participación en cualquier momento, la privacidad en la toma y el tratamiento de los datos, y demás apartes conforme a lo estipulado en el marco ético legal internacional y colombiano, que garantizan la protección de los derechos, la seguridad y el bienestar de los sujetos, así como los requisitos básicos para desarrollar investigación en humanos.

La investigación se desarrolló con la aprobación del Comité de Ética de Investigación Científica de la Universidad Industrial de Santander, Acta 05 de 2022. Todas las actividades donde se involucran participantes cuentan con su respectivo consentimiento informado y autorización para utilizar los resultados con fines académicos.

## Resultados

A continuación se presenta la propuesta metodológica y el proceso llevado a cabo para el desarrollo tecnológico de una herramienta manual tipo azadón doble propósi-

to, en Santander, Colombia, en el marco del proyecto “Desarrollo de la agroindustria de plantas aromáticas y sus derivados como agente del progreso tecnológico, económico y social del campo santandereano - Santander”, con financiación del Sistema General de Regalías de Colombia y ejecutado por la UIS.

## Propuesta metodológica

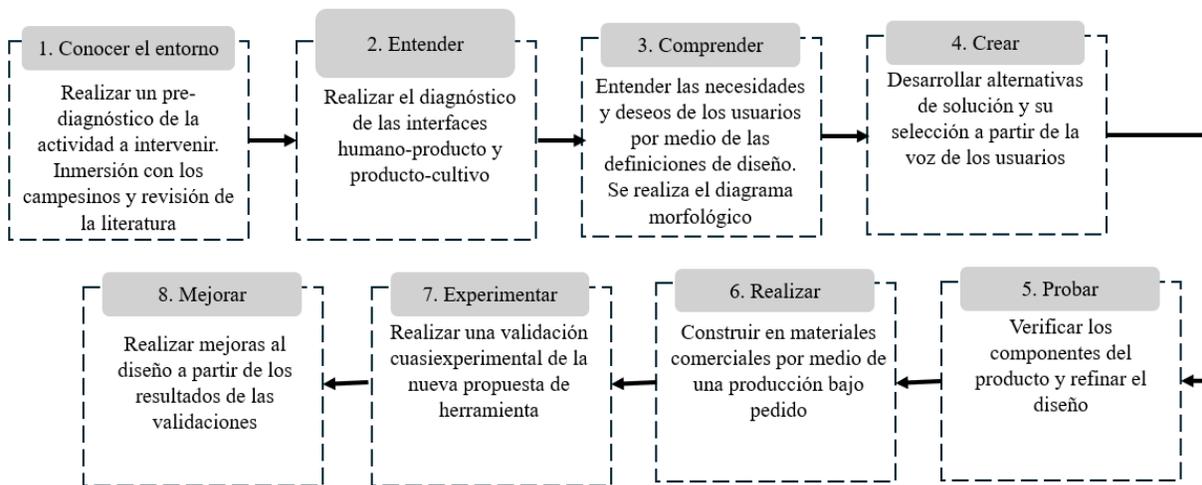


Figura 1. Diseño metodológico de ocho etapas prácticas para el diseño del producto a intervenir.

diversos tipos de herramientas manuales denominados “azadones” para este propósito. A continuación se desarrolla cada una de las etapas del diseño.

### Conocer el entorno

Inicialmente, se revisaron y analizaron las características del contexto de estudio, en dos tiempos. Se inició con un *prediagnóstico* para, de manera global, revisar las herramientas tradicionales utilizadas en la actividad laboral e identificar la herramienta a intervenir, por medio de dos enfoques: mayor incidencia en desórdenes musculoesqueléticos y frecuencia de uso en relación con la demanda de la actividad laboral. Con ello se determinó que el azadón se constituye en una de las herramientas más penosas del campo santandereano. Este análisis se hizo en el mes de noviembre de 2019, en cultivos localizados en el complejo piloto agroindustrial Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinas Tropicales (CENIVAM) de Bucaramanga, en la Sede UIS Barbosa, Santander, y en la vereda petaqueros de Puente Nacional, Santander.

En un segundo tiempo, se realizó una inmersión siguiendo los lineamientos del Design Thinking, como la

El proceso de codiseño propuesto consta de ocho etapas prácticas de cocreación, con trabajo conjunto sincrónico y asincrónico, en escenarios presenciales y plataformas virtuales.

La metodología propuesta en la Figura 1 ha sido utilizada para el análisis de la actividad laboral de preparación y mantenimiento de los cultivos de plantas aromáticas, donde actualmente en el campo santandereano se utilizan

mejor ruta para obtener la comprensión de la población objetivo a través de actividades presenciales en su contexto. Se inició con un taller de empatía (véase Figura 2), con el fin de identificar emociones, sentimientos y el valor cultural del azadón. Por medio de un *muro de síntesis*, se identificaron patrones comunes que se repetían, para, de esta manera, analizar los resultados del proceso de inmersión. Lo anterior se efectuó bajo el precepto de que los objetos no solo poseen funciones prácticas, sino también estéticas, indicativas que orientan su uso, y simbólicas, que conectan con los valores del contexto sociocultural [25].

De forma paralela, se realizó una *documentación* en tres aspectos: sistemática de la literatura y de la normatividad, bajo un enfoque basado en la evidencia [26]; de patentes, bajo una guía de vigilancia e inteligencia estratégica [27], y comercial, mediante una búsqueda de productos con características similares a nivel regional, nacional e internacional. En la Tabla 1 se pueden observar los lineamientos de diseño obtenidos a partir de la documentación, como son las tendencias, las oportunidades de innovación, las restricciones de diseño y los descriptores ergonómicos.



**Figura 2.** Desarrollo del taller de empatía con campesinos de Santander. Fechas: 24 y 25 de febrero de 2020. Lugares: a. Barbosa, Santander, y b. Chipatá, Santander. Participantes: a. miembros de la Asociación de Mujeres Campesinas de Barbosa (AMUCBAR), la Sociedad Agroindustrial de Plantas Aromáticas y Medicinales SAT (SAPAM SAT) y la Asociación de Productores y Comercializadores Ecológicos de Puente Nacional (ASPROCEP), y b. de la Asociación de Productores Agroindustriales de Chipatá (ASOCAPACHI). Se oculta las caras, por la confidencialidad que se deben tener con los participantes, bajo la normatividad del trabajo científico con humanos

**Tabla 1.** Lineamientos de diseño obtenidos a partir de la documentación

Lineamiento	Característica	Fuente de la documentación
Tendencias	Marcan el estilo o concepto que se encuentra en el mercado y brinda información deseable en el producto, de manera que cuente con las características que le permitan diferenciarse [28]	Revisión de patentes y comercial
Oportunidades de innovación	Son los diversos atributos de valor en los productos y beneficios que los operarios pueden encontrar o esperar, con el fin de obtener información novedosa para implementar [28]	
Restricciones	Orientan y limitan las acciones y la toma de decisiones, y facilitan la interpretación de la información [29]	

Lineamiento	Característica	Fuente de la documentación
Banco preliminar de descriptores ergonómicos	Asociados a la comodidad e incomodidad; permiten desarrollar pautas para mejorar y rediseñar productos antiguos y nuevos [30]. El involucrar características adecuadas de diferente naturaleza (descriptores) puede cambiar significativamente la interacción entre humano y producto	Revisión sistemática de literatura

### Entender el contexto local

Con el fin de poder percibir con claridad el contexto local, se inició con un *diagnóstico*, que se hizo por medio de un estudio exploratorio y observacional en campo, para generar información referente a las diversas especificaciones de los operarios sobre los requisitos del producto (véase Figura 3). Por medio de la observación, se recopilaron datos cualitativos que permitieron estudiar las tareas y los procesos que los operarios realizan con el azadón. Se definieron las características de la actividad laboral bajo dos enfoques: el primero, de uso y

simbólico, que responde a la *interfaz humano-producto*, y el segundo, funcional y técnico, que responde a la *interfaz producto-cultivo*.

El análisis de la *interfaz humano-producto* se llevó a cabo por medio de un estudio de determinantes de exposición (aspecto de uso), que tiene como propósito identificar y cuantificar las diferentes fuentes de riesgo generadas durante la actividad, para así comprender estos factores y poder generar controles efectivos. Bajo un análisis de causalidad, se relacionaron los comportamientos observados en la actividad laboral (en función



Figura 3. Desarrollo del estudio por observación en campo. Fecha: 11 de marzo de 2020. Lugar: complejo agroindustrial piloto CENIVAM, Bucaramanga, Santander. Participantes: técnicos agroindustriales y equipo investigador.

de cada una de las tareas que la componen), a los cuales, bajo la experticia del investigador, se les atribuyen las posibles causas (demandas y características de la actividad) y las consecuencias sobre el operario (posturas penosas, dolencias y posible aparición de desórdenes musculoesqueléticos).

Las tareas estudiadas fueron cuantificadas mediante el método *sistema de análisis de trabajo Ovako* (Ovako Working Analysis System, OWAS). Este método permite valorar la carga física que se presenta en las actividades laborales, en categorías de riesgo. Posee cuatro niveles donde el 4 es el más alto, y significa que la carga causada por esta postura tiene efectos dañinos sobre el sistema musculoesquelético [31]. Se registró un ciclo de trabajo de 20 minutos, a través de grabación de video, y este se dividió cada 20 segundos. Se obtuvieron, en promedio, 60 fotografías de cada participante, para un total de 240 fotografías analizadas, correspondientes a las posturas asumidas por los operarios durante la ejecución de las tareas propias de la actividad de mantenimiento de los cultivos.

El análisis descriptivo de los datos muestra que el trabajo con el azadón se encuentra en un nivel de riesgo superior a 2, donde el 45 % de las posturas asumidas por los operarios se hallan en un nivel de riesgo 4, y el 32,1 %, en un nivel de riesgo 2. De forma paralela, se realizó una entrevista semiestructurada sobre los factores emocionales del producto (aspecto simbólico), con el fin de establecer la identidad y la representación cultural del azadón para los operarios.

Así mismo, con los insumos obtenidos por observación, se obtuvo la información necesaria para el análisis de la *interfaz producto-cultivo*, la cual se esquematizó mediante un diagrama de afinidad (aspecto funcional), que permitió comprender el sistema general de la actividad laboral y establecer de forma estructurada los patrones encontrados y las relaciones entre ellos. De manera adicional, se hizo un análisis del sistema mecánico del producto, con el fin de comprender sus componentes, su comportamiento, sus relaciones y determinar la función específica de cada uno de ellos en la transformación o transmisión de movimiento. Finalmente, se realizó un diagnóstico del estado actual del azadón tradicional (aspecto técnico), que incluyó información sobre los materiales de los elementos configuracionales, los procesos productivos para su fabricación, las especificaciones técnicas y las posibles restricciones, así como las características propias de los cultivos a intervenir, como el tipo de plantas, tallos, ramas, hojas, altura de planta, altura de corte y tipo de corte.

### Comprender las necesidades de los usuarios

Para entender de forma clara a los campesinos, se inició con un proceso de *definición de diseño*, que se caracteri-

zó por establecer la información a aplicar en el proceso de concepción, a partir de la definición del problema y de las funciones del producto.

La definición del *problema de diseño* se realizó mediante un esquema de sucesión tipo causa-efecto, que analiza la problemática que se quiere resolver. Este esquema es denominado “árbol del problema” y permitió establecer los puntos hacia donde se encaminaron los esfuerzos dentro del objetivo de diseño, que contribuye a revisar la efectividad de las medidas acometidas para resolver el problema.

Por otro lado, las *funciones del producto* fueron identificadas mediante el Function Analysis System Technique Diagram (diagrama FAST), que permitió analizar la estructura funcional del sistema por medio de la descomposición de la función principal del producto en subfunciones, lo cual posibilitó hacer un análisis segmentado, para brindar una respuesta oportuna y completa de las necesidades de los operarios.

Ahora bien, teniendo en cuenta que uno de los aspectos más importantes es involucrar la voz de los operarios en el proceso de diseño, entre el 20 y el 24 de marzo de 2020 se emprendieron las *sesiones de cocreación* en ambiente remoto, a través de plataformas virtuales como Google Meet y llamadas telefónicas para aquellos participantes que no contaban conectividad con internet.

La actividad semiestructurada se hizo en tres bloques:

- En el *primer bloque* se formularon preguntas con respecto al perfil de los participantes, para la definición de los diferentes perfiles de usuario o arquetipos que se utilizarán en el estudio.
- El *segundo bloque* fue realizado bajo la técnica Brainstorming o lluvia de ideas, como un ejercicio colaborativo para la generación de ideas. Esta herramienta es una de las más utilizadas en las fases iniciales de un proceso centrado en el usuario, y se considera una técnica no estructurada para trabajo grupal, donde se buscan soluciones en conjunto [32].
- En este bloque se plantearon preguntas relacionadas con las funciones principal y secundarias del producto que se está analizando, con el fin de involucrar a los actores identificados que ejecutan la actividad laboral. De esta forma, se obtuvieron diferentes ideas acerca de las funciones identificadas, procurando desligar las mismas de un azadón tradicional, y así obtener oportunidades de solución que difieran del esquema mental de la herramienta de uso actual.
- En el *tercer bloque* se registró la definición que los participantes tenían de los *descriptores ergonómicos*, bajo la pregunta: “Describa qué sienten en una experiencia de comodidad (Grupo A) o incomodidad (Grupo B) en el uso de un azadón”, ya que se sabe que cuando se quiere medir su percepción asociada, se debe hacer por medio de la aplicación de instrumentos aislados. Lo anterior, debido a que la

literatura nos muestra que cuando se quiere medir su percepción asociada, se debe efectuar por medio de la aplicación de instrumentos aislados, dado que la ausencia del uno no significa la presencia del otro [33]. La información obtenida entre los participantes y la literatura fue unida y depurada, con lo que se obtuvo un listado de descriptores para evaluar la percepción de los operarios en la etapa de verificación.

A partir de la identificación y la comprensión del sistema y las funciones del producto, se definieron los *requerimientos de diseño*, en los cuatro aspectos analizados anteriormente: usos, simbólicos, funcionales y técnicos, como las variables cualitativas o cuantitativas que deben cumplirse en la solución de diseño. Así mismo, se generaron los *parámetros de diseño*, a través de dos fuentes de información: las revisiones llevadas a cabo en la etapa de planeación, y las respuestas obtenidas por medio de la voz de los operarios en las diferentes actividades desarrolladas.

Para finalizar la etapa 3, se consolida los conceptos de solución obtenidos a partir de las sesiones de cocreación en un diagrama morfológico. Esta herramienta de diseño fue creada por Fritz Zwicky en 1996 [34]. Este es un método analítico-combinatorio que tiene como objetivo resolver el problema de diseño mediante el análisis de las partes que lo componen. En este caso, son las funciones del producto, para generar diversas combinaciones, su análisis y posibilidades creativas.

### Crear alternativas de solución pensando en los usuarios

Es importante poder analizar el nivel de incidencia de cada uno de los conceptos propuestos a partir de la voz de los usuarios, con el fin de poder realizar un proceso de *selección de una alternativa conceptual*. Esta fase tuvo como objetivo elegir la alternativa configuracional de diseño basado en las seis combinaciones con mayor potencial para ser desarrolladas, obtenidas a partir del diagrama morfológico desarrollado de forma previa.

Cabe aclarar que esta herramienta no limita el número de combinaciones que se pueden crear. En el caso de este proyecto, se inició con las que se consideraron que tenían una mejor viabilidad técnica, cumplía con la funcionalidad esperada y con la deseabilidad manifestada por los campesinos.

Las combinaciones se esquematizaron en *dibujos de información* que, según la Sociedad de Diseño Industrial de América (Infectious Diseases Society of America, IDSA), permiten comunicar características de manera rá-

pida y eficaz, mediante el uso de anotaciones y gráficos de apoyo [35].

A partir de las combinaciones, se efectuó una *depuración inicial*, bajo el cumplimiento de los lineamientos de diseño (véase Tabla 1). Esto, con el fin de propiciar su cumplimiento en la alternativa de solución, involucrar características que fomenten el desarrollo de un producto innovador y evitar reprocesos futuros por la falta de cumplimiento de las restricciones de diseño.

A las alternativas depuradas se les realizó un *estimado de costos*, como un criterio adicional para la toma de decisiones, del cual, a partir de la identificación y el cálculo de los recursos directos para emprender el proceso de fabricación del producto (materiales y procesos de manufactura), se obtiene información de carácter cuantitativo que permite analizar la posibilidad de manufacturar y comercializar el producto a futuro, en relación con el posible costo de este.

Posteriormente, se procedió a establecer una *clasificación de las funciones y subfunciones previamente definidas en la etapa anterior*, con el propósito de que estas sean acordes a los requerimientos del producto. Esto, en aras de concebir una herramienta que responda a las necesidades de los usuarios. Así, las funciones deben cumplir las actividades por las cuales fueron creadas y, por tanto, eliminar aquellas innecesarias o que no generen valor agregado a la función principal o al producto en sí mismo.

Cabe resaltar que no existe una taxonomía reconocida para clasificar los productos, ya que la captación sensorial de las cualidades morfológicas de un producto, la valoración de sus funciones y las emociones que le desencadenan a los usuarios se dan por la lectura e interpretación que se hace de él en un entorno determinado [25]. En este caso, el sector en que el que se trabajó fueron los productores de plantas aromáticas de Santander; por tal motivo, esta clasificación la estableció el equipo de investigación, con base en los análisis realizados en las etapas anteriores.

La información obtenida anteriormente brindó la línea base para hacer un *análisis de valor*, de forma que, con el mínimo costo, se aseguren todas las funciones que el usuario requiere y cumpla con los requerimientos técnicos planteados. Por tanto, posterior a la clasificación de las funciones, se otorgó un grado de importancia a cada una de ellas, obtenido a través de la voz de los operarios.

A cada uno de los participantes se le formuló la pregunta: “¿Qué tan importante es para usted la siguiente función en una escala de 1 a 10, donde 1 es la menos importante y 10 la más importante?”. De esta manera, el equipo de investigación obtuvo una ponderación en

un valor porcentual de 0 a 100 %. Una vez calificadas las funciones, los miembros del equipo investigador procedieron a realizar una calificación de su cumplimiento técnico de cada una de las alternativas de solución con relación a las funciones y subfunciones establecidas. Esto, con el fin de seleccionar los mejores componentes para la alternativa conceptual final de diseño.

### Probar los conceptos para determinar la solución

Para comprobar los conceptos planteados, se da inicio con la selección de los componentes del producto, a partir de las alternativas conceptuales con mejor valoración, y así poder hacer un proceso de verificaciones de su configuración (véase Figura 4).

Como se observa en la Figura 4, la selección de componentes del producto fue realizada a través de un

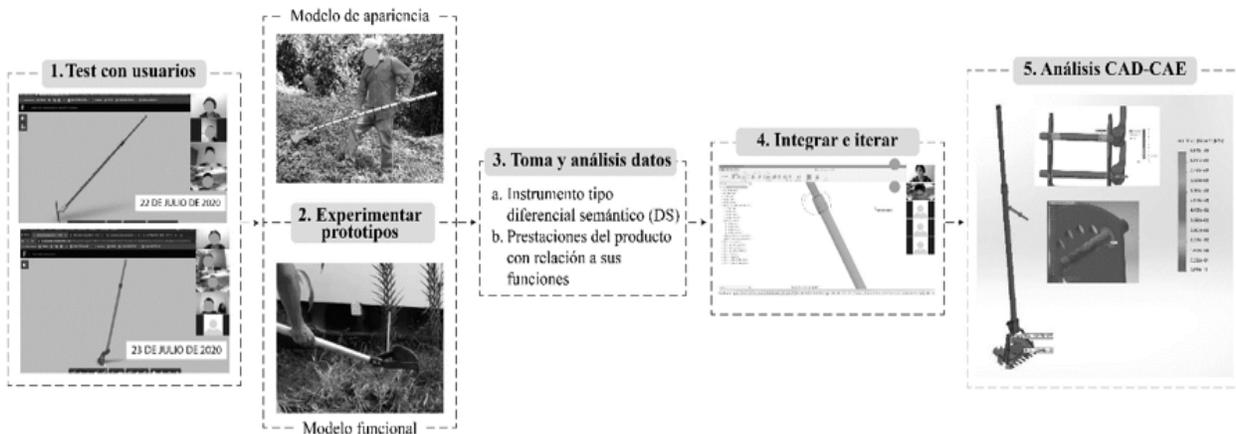


Figura 4. Proceso llevado a cabo para la verificación de una nueva propuesta de azadón. CAD-CAE: Computer Aided Design & Computer Aided Engineering.

*test con usuarios*, que es un método de evaluación que permite comprobar, a partir de modelos (en este caso digitales), si la interfaz y el diseño del producto IDSA, este tipo de modelo es una maqueta o representación física simple utilizada para explorar y visualizar las relaciones entre componentes, cavidades (características configuracionales que pueden existir o no), interfaces y estructuras [35].

De igual forma, se utilizó el método que la organización IDEO plantea como *integrar comentarios e iterar*, mediante el cual, durante todo el proceso de verificaciones, se fueron realizando modificaciones sobre el modelo CAD [35]. A este se integraron los comentarios obtenidos de las personas para las que se está haciendo el diseño y los resultados de los instrumentos de medición.

De esta forma, las verificaciones con prototipos fueron realizadas bajo dos enfoques principales: los aspectos de uso y simbólicos (interfaz humano-producto), por medio de un *modelo de apariencia*, y los aspectos funcionales y técnico productivos (interfaz producto-cultivo), mediante un *modelo funcional de bajo costo*. Ahora bien, con los dos modelos desarrollados, se celebraron algunas sesiones para *experimentar prototipos*. El propósito fue simular experiencias de una actividad a través de un prototipo rápido, lo que permitió al grupo

investigador probar soluciones con la participación de los operarios. En todo momento, los usuarios primarios interactuaron con la propuesta de solución en condiciones semicontroladas. Cabe resaltar que la interacción con la población objetivo es el eje principal del proceso de adaptación del producto, ya que al involucrar a las personas se producen diseños con características de usabilidad superiores.

La actividad de verificaciones estuvo constituida en dos partes: la primera de percepción (A) y la segunda de simulación (B). La parte A correspondió a la percepción por observación de las características del producto con referencia a unos descriptores previamente identificados. Se utilizó un instrumento tipo diferencial semántico para su análisis y asociación con la percepción del modelo de apariencia, ya que permite relacionar una palabra con el objeto simbolizado que presenta. El instrumento estaba formulado por medio de pares de adjetivos bipolares, donde mediante el análisis de frecuencias, se determinó la relación del descriptor con un azadón.

La parte B correspondió a las prestaciones del producto a propósito de las funciones y tareas previamente identificadas. Las prestaciones de un producto hacen alusión a los atributos o servicios que este proporciona a un usuario para que esté satisfecho después del uso. La

actividad fue realizada bajo un proceso de simulación de uso de las tareas en diferentes inclinaciones de terreno, donde se les entregó a los participantes un diagrama de uso, con el fin de presentar un esquema gráfico en la circunstancia de que el producto no fuera claro para los participantes. De forma posterior, se hizo entrega a los participantes de un instrumento para la evaluación de las prestaciones del producto con respecto a sus funciones, a partir de una escala psicométrica de siete puntos y un cuestionario dicotómico con relación a la posibilidad de efectuar las tareas previamente identificadas.

Finalmente, se llevó a cabo un análisis de esfuerzos, deformaciones y tracción del comportamiento de la estructura de la nueva propuesta de azadón a través de un análisis por *elementos finitos* (mediante el método computarizado CAE). Se determinó cuáles son las fuerzas que actúan sobre la herramienta y en qué zonas se aplican. Se utilizó como método de aplicación de fuerza para testear la herramienta de la Food and Agriculture Organization of the United Nations [36], que presenta la forma como se prueba la herramienta, el modo de fijación y las dimensiones a las cuales se les debe colocar la fuerza especificada.

Basado en lo anterior, para se aplicó en el modelo CAE una fuerza de 300 N, que es aproximada a 30 kgf, aplicada de manera perpendicular a un metro de distancia de la herramienta. En términos ergonómicos, para que una persona no se lesione debe aplicar una fuerza máxima de 40 N en una tarea con una duración de 60 min, en una posición de pie, halando hacia el cuerpo con una mano según la norma AFNOR NF X35-106 [37], esta fuerza máxima debe ir disminuyendo a medida que el tiempo de la tarea aumente. Adicionalmente, en el estudio de Das y Wang [38], se especifica que en una posición de pie, en hombres con el codo a 90°, y halando de forma recta hacia al cuerpo, se puede generar una fuerza media de 108,47 N. La media de este estudio para la fuerza de halar en diferentes posiciones del brazo y ángulos del codo fue de 147,58 N (15 kgf). Con los valores de fuerza relacionados anteriormente se realizó el análisis planteado y las mejoras al diseño.

### Hacer tangibles las ideas

A partir de los resultados del proceso de verificaciones, se refinó el diseño CAD y se procedió al *diseño de detalle*, donde quedaron determinados todos los componentes del producto y se definieron de manera precisa sus características, como materiales y procesos de manufactura, para la ejecución de su construcción. Este diseño se logró mediante una producción bajo pedido, la cual es una modalidad productiva que contempla la construcción de un solo producto a la vez, por lo que se considera un proceso

de mano de obra intensiva. De esta forma, el producto fue elaborado por medio de la combinación de la construcción manual y de la interacción de máquinas o equipos.

### Experimentar prototipos funcionales

A partir del prototipo funcional desarrollado se realizó un proceso de aplicación cuasiexperimental, donde su objetivo fue recolectar datos asociados al comportamiento postural del operario y de su percepción de comodidad, a partir del uso de una nueva propuesta de herramienta manual de tipo azadón. Se plantearon dos hipótesis del trabajo: la primera, con respecto a los elementos configuracionales de la herramienta que estuviesen relacionados con las respuestas corporales (interfaz humano-producto), y la segunda, referente a los elementos configuracionales que intervienen en las prestaciones del producto (interfaz producto-cultivo).

Para el caso de las respuestas corporales, se registraron dos ciclos de trabajo de 20 minutos en dos días diferentes, procurando conservar características del terreno y hora similares. En promedio se obtuvieron 60 registros por día de cada participante, para un total de 3120 fotografías analizadas, correspondientes a las posturas asumidas por los operarios durante la ejecución de las tareas propias de la actividad de mantenimiento de los cultivos. El análisis descriptivo de los datos del método OWAS muestra una frecuencia relativa de permanencia en la postura general correspondiente al 73,6 % con una categoría de riesgo igual a 2 (hay posibilidad de que la postura cause daño al sistema musculoesquelético), seguido del 25,7 % de frecuencia relativa en grado 1 (la postura no tiene efectos dañinos en el sistema musculoesquelético).

La percepción de comodidad fue registrada después del uso del azadón. Esta herramienta subjetiva estaba compuesta por los descriptores identificados en las etapas anteriores. El objetivo fue determinar el grado en que cada descriptor de la herramienta diseñada fue asociado o no con el concepto que tiene el campesino sobre comodidad.

### Realizar mejoras al diseño

Los resultados del proceso de aplicación mostraron que los descriptores ergonómicos con una valoración igual o menor que “neutral” en su percepción de comodidad significaban una oportunidad de mejora en las características del diseño de la herramienta, motivo por el cual se completaron los ajustes puntuales al diseño, con el propósito de mejorar la relación de percepción de comodidad de los descriptores ergonómicos previamente identificados con los resultados tangibles en la herramienta manual de tipo azadón.

## Nueva propuesta de herramienta manual de tipo azadón

Como producto de la propuesta metodológica implementada de este proceso de diseño, donde se incorpora-

ron el uso de los descriptores ergonómicos identificados en las primeras etapas del estudio, se obtuvo el diseño de una herramienta agrícola de cabo largo, con niveles de inclinación respecto al cabezal doble propósito, equipado con hoja tipo azadón rastrillo (véase Figura 5).



Figura 5. Nueva propuesta de herramienta manual de tipo azadón. En proceso de patentación.

Posterior a la valoración del nivel de madurez de la tecnología de acuerdo con el *technology readiness level* [39] del prototipo funcional, se puede concluir que corresponde a un nivel 7, ya que el prototipo se ha probado en un entorno operativo, que aborda los requisitos y las especificaciones técnicas, y ha sido utilizado por usuarios reales.

## Discusión

El propósito del presente estudio fue desarrollar una propuesta metodológica para el desarrollo tecnológico agrícola de una herramienta manual, que permitiera disminuir las condiciones penosas de la actividad laboral

durante su uso. Cada vez más, se hace énfasis en las necesidades ergonómicas de los usuarios, como son: que el trabajo no cause daño, que el esfuerzo sea mínimo y que se realice cómodamente [40,41].

La herramienta manual tipo azadón diseñada mostró una disminución del nivel de riesgo, pasando de una frecuencia relativa en la postura del 45,4 % en grado 4 y 32,1 % en grado 2, al 73,6 % en grado 2 y al 25,7 % en grado 1, lo cual implica que si bien aún prevalece el riesgo postural principalmente por la flexión de espalda (71,2 % de permanencia en la postura, correspondiente a una espalda inclinada mayor que 20°), se lograron mejorar las condiciones posturales para el trabajo.

La literatura nos muestra que el cambio tecnológico es la principal fuente de crecimiento de la productividad

agrícola [42,43]. Sin embargo, existen nuevas tecnologías que se han desarrollado con el propósito de mejorar el agro, pero en sus intervenciones no consideran las necesidades y deseos de los campesinos. Este fenómeno se presenta, en parte, por una falta de profundización para comprender las preferencias del usuario primario y sus capacidades tecnológicas [44]. Lo anterior se traduce en una débil aceptación por parte del agricultor y en una posible discontinuación de los desarrollos tecnológicos con características innovadoras [18].

Según Oestergaard [45] y Briggs [46], vigilar la salud musculoesquelética de los trabajadores, por medio de mediciones y mejoras en las condiciones del trabajo por parte de los empleadores, contribuye de forma potencial a garantizar costos mínimos de ausentismo y presentismo en el futuro. De este modo, hay evidencia que ha demostrado que los desórdenes musculoesqueléticos se encuentran asociados con una capacidad laboral reducida y, por consiguiente, con una baja productividad entre los trabajadores [47]. De esta manera, el impacto del dolor musculoesquelético es significativo en la actividad laboral [48], siendo el dolor lumbar la principal causa de vivir años con discapacidad [49] y un motivo común de abandono laboral prematuro [50].

La comodidad en la postura en el uso del azadón es resuelta por medio de un sistema de encabado con ángulo variable, el cual permite configurar la inclinación entre la hoja y el cabo de aquel, a partir de las características antropométricas de los usuarios y de las demandas propias de la actividad. Esto, con la finalidad de propiciar una postura adecuada para el trabajo y contribuir con la disminución de la flexión pronunciada de columna. Lo anterior concuerda con los hallazgos de Fathallah *et al.* [51], quienes encontraron que mejorar la postura de trabajo tiene un impacto significativo en la prevención primaria y particularmente secundaria del dolor lumbar, donde la minimización de las molestias puede contribuir a la reducción del riesgo de trastornos musculoesqueléticos [52].

La incomodidad en el uso de las herramientas manuales es inversamente proporcional a la productividad, reduciendo la satisfacción en el trabajo [53]. Además, las herramientas manuales ergonómicamente bien diseñadas pueden reducir el riesgo de lesiones ocupacionales de las extremidades superiores. También proporcionan un trabajo cómodo para los operarios, que puede verse reflejado en una mayor satisfacción en el trabajo y en ofrecer una alta calidad del producto a los consumidores [54].

Hubo limitaciones en la ejecución del estudio, principalmente debido a las condiciones debidas a la crisis sanitaria relacionada con el COVID-19, en cuanto afectó

los tiempos de ejecución de la investigación, de manera principal, los relacionados con la etapa de aplicación, la cual se encuentra en análisis como un estudio derivado del presentado en este artículo.

Por otra parte, debido a la naturaleza del estudio en campo, donde muchos de los cultivos se hallan en zonas aledañas y ante los requerimientos técnicos de los equipos de toma de datos, no se pudo contar con medidas objetivas, como las que pueden aportar la electromiografía y la goniometría, que permitirían controlar el sesgo del autorreporte y del análisis de los datos de flexión a partir de la captura de video en plano sagital.

Es oportuno aplicar la presente propuesta metodológica para el desarrollo de nuevas herramientas en campo, ya que a partir del estudio se pudo identificar la prevalencia de herramientas con características totalmente tradicionales que propenden por una alta demanda musculoesquelética en los campesinos.

El objetivo de este artículo fue mostrar la metodología de codiseño utilizada para el desarrollo de una herramienta manual tipo azadón, enmarcado en una metodología de diseño participativo y centrada en el usuario. En ese sentido, el presente estudio involucró a los usuarios desde las primeras etapas del proceso, como mecanismo para una real comprensión de sus necesidades y deseos. Se obtuvo una nueva propuesta de azadón con calidad ergonómica, dado que reduce el riesgo postural durante su uso. De esta manera, se espera, que la transferencia tecnológica sea más efectiva, dado que los campesinos estuvieron involucrados en todas las etapas del proceso de diseño y desarrollo. Adicionalmente, se logró el involucrar a los usuarios desde las primeras etapas del proceso, como mecanismo para una real comprensión de sus necesidades y deseos, y propiciar, de esta forma, la transferencia tecnológica efectiva del producto. Asimismo, el introducir descriptores ergonómicos específicos para cada tipo de herramienta permite catalizar las necesidades ergonómicas e implementarlas de manera efectiva dentro del diseño, y de este modo poder mitigar los factores de riesgo de postura y carga.

## Agradecimientos

Los autores manifiestan su gratitud a la Universidad Industrial de Santander y a los participantes en la toma de datos durante la investigación.

## Declaración de fuente de financiación

El artículo sometido fue financiado por el Fondo Regalías para la Ciencia, Tecnología e Innovación - FC-

TeI del Sistema General de Regalías - SGR [BPIN-2018000100044].

## Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Declaración de responsabilidad

Se afirma que los autores son responsables de la información proporcionada de la investigación y de su exactitud.

## Declaración de contribución por autores

*Conceptualización del estudio:* María Fernanda Maradei García

*Diseño del estudio:* María Fernanda Maradei García y Silvia Nathalia Mantilla Niño

*Aplicación de métodos:* Silvia Nathalia Mantilla Niño

*Análisis de datos:* Silvia Nathalia Mantilla Niño

*Redacción del manuscrito:* Silvia Nathalia Mantilla Niño

*Revisión y corrección del manuscrito:* María Fernanda Maradei García

## Referencias

1. Nag PK, Gite LP. Manpower utilization: Working methods and practices in small land holdings. En: Human-centered agriculture: Ergonomics and human factors applied. Singapore: Springer; 2020. pp. 15.35.
2. Oficina Internacional del Trabajo. Seguridad y salud en la agricultura. Repertorio de recomendaciones prácticas. Oficina Internacional del Trabajo [internet]; 2011 [citado 2023 ene. 17]. Disponible en: [https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed\\_protect/@protrav/@safework/documents/normative-instrument/wcms\\_161137.pdf](https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/normative-instrument/wcms_161137.pdf)
3. Nunes I. Troduction to musculoskeletal disorders. OSHwiki [internet]; 2017 [citado 2023 ene. 17]. Disponible en: <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/introduction-musculoskeletal-disorders>
4. Velásquez JC, Velásquez DM. Morbilidad laboral en trabajadores del sector agrícola de Colombia. Prevención Integral y ORP Conference [internet]. 2014 [citado 2023 ene. 17]. Disponible en: <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2014/morbilidad-laboral-en-trabajadores-sector-agricola-colombia>
5. ILO. Global trends on occupational accidents and diseases [internet]. 2015 [citado 2023 ene. 17]. pp. 1-7, Disponible en: [http://www.ilo.org/legacy/english/osh/en/story\\_content/external\\_files/fs\\_st\\_1-ILO\\_5\\_en.pdf](http://www.ilo.org/legacy/english/osh/en/story_content/external_files/fs_st_1-ILO_5_en.pdf)
6. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Perspectivas del sector agropecuario en Colombia. [internet]. 2022 [citado 2023 abr. 17]. pp. 1-7, Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/220331-Presentacion-general-Asoleche-fin.pdf>
7. Consejo Colombiano de Seguridad, Observatorio de la Seguridad y Salud. Accidentes de trabajo y enfermedades laborales en Colombia 1.º semestre de 2022 [internet]; 2022 [citado 2023 oct. 13]. Disponible en: <https://ccs.org.co/atel-col-1er-semester-2022>
8. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Boletín técnico. Ocupación informal. Trimestre abril- junio 2023. [internet]; 2023 ago. 11 [citado 2024 abr. 27]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/GEIH/bol-GEIHEISS-abr-jun2023.pdf>
9. Agronet. La industria de plantas aromáticas exportó US\$49,2 millones y creció 16% en 2022 [internet]. 2023 ago. 18 [citado 2024 abr. 27]. Disponible en: [https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/La-industria-de-plantas-arom%C3%A1ticas-export%C3%B3-us\\$49,2-millones-y-creci%C3%B3-16-en-2022.aspx](https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/La-industria-de-plantas-arom%C3%A1ticas-export%C3%B3-us$49,2-millones-y-creci%C3%B3-16-en-2022.aspx)
10. Asociación Nacional de Comercio Exterior. Las exportaciones de Colombia se impulsan con las hierbas aromáticas [internet]. s. f. [citado 2024 abr. 27]. Disponible en: <https://www.analdex.org/2023/02/24/las-exportaciones-de-colombia-se-impulsan-con-las-hierbas-aromaticas/>
11. Ansell C, Torfing J. Public innovation through collaboration and design. New York: Routledge; 2014.
12. Eastwood CR, Turner FJ, Romera AJ. Farmer-centred design: An affordances-based framework for identifying processes that facilitate farmers as co-designers in addressing complex agricultural challenges. Agric Syst. 2022;195:103314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103314>
13. Plattner H, Meinel C, Weinberg, U. Design thinking. Landsberg am Lech: Mi-Fachverlag; 2009.
14. Guerlesquin G, Sagot JC. Vers une meilleure intégration de l'ergonomie et du design industriel dans la conception. En: 6ème Conférence Internationale Conception et Production Intégrées [internet]; 2009 [citado 2022 nov. 11]. pp. 1-19. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/260075467\\_Vers\\_une\\_meilleure\\_integration\\_de\\_l\\_ergonomie\\_et\\_du\\_design\\_dans\\_la\\_conception/link/584eecb208aed95c25099410/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn9](https://www.researchgate.net/publication/260075467_Vers_une_meilleure_integration_de_l_ergonomie_et_du_design_dans_la_conception/link/584eecb208aed95c25099410/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn9)
15. Brangier E, Robert JM. Manifeste pour l'ergonomie prospective: Anticiper de futures activités humaines en vue de concevoir de nouveaux artefacts. En: Proceedings of the 22nd Conference on l'Interaction Homme-Machine; 2010. pp. 57-64. DOI: <https://doi.org/10.1145/1941007.1941016>
16. Norman D. The design of everyday things. New York: Basic books [internet]; 2013 [citado 2022 nov. 11]. Disponible en: <https://dl.icdst.org/pdfs/files4/4bb8d08a9b309df7d86e62ec4056ceef.pdf>
17. Gatsi W, Muzari W, Muvhunzi S. The impacts of technology adoption on smallholder agricultural productivity in Sub-Saharan Africa: A review cite this paper related papers the impacts of technology adoption on smallholder agricultural productivity in Sub-Saharan Africa: A review. J Sustain Dev. 2012;5(8):69-77. DOI: <https://doi.org/10.5539/jsd.v5n8p69>
18. Steinke J, Ortiz-Crespo B, et al. Participatory design of digital innovation in agricultural research-for-development: Insights from practice. Agric Syst. 2022;195:103313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103313>
19. Anton D, Rosecrance J, Gerr F, et al. Effect of concrete block weight and wall height on electromyographic activity and heart rate of masons. Ergonomics. 2005;48(10):1314-30. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140130500274168>
20. Kuijt-Evers LFM. Comfort in using hand tools: Theory, design and evaluation [tesis doctoral]. Delft: Universidad Tecnológica de Delft [internet]; 2007 [citado 2020 may .8]. Disponible en: <https://>

- repository.tudelft.nl/record/uuid:c3fcf850-7423-4fb1-95c5-d92da8993210
21. Lannon J, Walsh JN. Project facilitation as an active response to tensions in international development programmes. *Int J Proj Manag.* 2020;38(8):486-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2020.06.002>
  22. Asociación Médica Mundial (ANM). Declaración de Helsinki de la AMM - Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos [internet]; 2024 may. 23 [citado 2023 nov. 10]. Disponible en: <https://www.wma.net/es/policias-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
  23. National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research. The Belmont report: Ethical principles and guidelines for the protection of human subjects of research. DHEW Publication No.(OS) 78-0012). 1978. Washington [internet] 1978 [citado 2023 nov. 10]. Disponible en: [https://videocast.nih.gov/pdf/ohrp\\_belmont\\_report.pdf](https://videocast.nih.gov/pdf/ohrp_belmont_report.pdf)
  24. Colombia, Ministerio de Salud. Resolución 8430, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud (1993 oct. 4).
  25. Mondragón Donés S. Aportaciones de la semántica del producto al diseño de herramientas [tesis doctoral]. Castellón de la Plana: Universitat Jaume I [internet]; 2011 [citado 2020 feb 5]. Disponible en: <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10803/81926?show=full>
  26. Tranfield D, Denyer D, Smart P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *Br. J. Manag.* 2003;14(3):207-22. DOI: 10.1111/1467-8551.00375
  27. Villanueva M, et al. Guía nacional de vigilancia e inteligencia estratégica (VeIE): Buenas prácticas para generar sistemas territoriales de gestión de VeIE. Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva [internet]; 2015 [citado 2021 feb. 5]. Disponible en: <https://ctplac.com.uy/wp-content/uploads/2018/10/guia-nacional-de-vigilancia-e-inteligencia-es-estrategica.pdf>
  28. Sarraipa J, Artificio A, Jiménez H. Metodología de evaluación de prototipo innovador. s. c.: Acacia [internet]; 2019 [citado 2024 ene. 5]. Disponible en: <https://acacia.red/wp-content/uploads/2019/07/Guía-Metodología-de-evaluación-de-prototipo-innovador.pdf>
  29. Torenvliet G. The design of everyday things: Revised and expanded edition. 2008;15(2):70-71. DOI: <https://doi.org/10.1145/1340961.1340979>
  30. Mokdad M, Al-Ansari M. Anthropometrics for the design of Bahraini school furniture. *Int J Ind Ergon.* 2009;39(5):728-35. DOI: 10.1016/j.ergon.2009.02.006
  31. Kivi P, Mattila M. Analysis and improvement of work postures in the building industry: Application of the computerized OWAS method. *Applied Ergonomics.* 1991;22(1): 43-48. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(91\)90009-7](https://doi.org/10.1016/0003-6870(91)90009-7)
  32. Paulus PB, Kenworthy JB. Effective brainstorming. En Paulus PB, Nijstad BA, editors. *The Oxford handbook of group creativity and innovation.* Oxford Library of Psychology; 2019. pp. 287-305. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190648077.001.0001>
  33. Looze MP De, Kuijt-Evers LFM, Van Dieën J. Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics.* 2003;46(10):985-97. DOI: <https://doi.org/10.1080/0014013031000121977>
  34. Cross, N. Métodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos. Mexico: Limusa Wiley; 2008.
  35. Industrial Designers Society of America. [Página web] [internet] s. f. [citado 2020 feb. 5]. Disponible en: <https://www.idsa.org/>
  36. Ashburner JE, Kienzle J. Agricultural hand tools in emergencies: Guidelines for technical and field officers. Roma: FAO [internet]; 2012 [citado 2020 feb 05]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3197e.pdf>
  37. Association Française de Normalisation – Afnor, Ergonomie. 2.<sup>a</sup> ed. Paris. <https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/nf-x35106/ergonomics-recommended-force-limits-for-work/fa031978/55826>
  38. Das B, Wang Y. Isometric pull-push strengths in workspace: 1. strength profiles. *Int J Occup Saf Ergon.* 2004;10(1):43-58. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.2004.11076594>
  39. Mankins JC. Technology readiness levels. A White Paper, April, 6(1995) [internet]; 1995 [citado 2020 feb. 5]. Disponible en: [http://www.artemisinovation.com/images/TRL\\_White\\_Paper\\_2004-Edited.pdf](http://www.artemisinovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf)
  40. Aptel M, Claudon L, Marsot J. Integration of ergonomics into hand tool design: Principle and presentation of an example. *Int J Occup Saf Ergon.* 2002;8(1):107-15. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.2002.11076518>
  41. Marsot J, Claudon L. Design and ergonomics. Methods for integrating ergonomics at hand tool design stage. *Int J Occup Saf Ergon.* 2004;10(1):13-23. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.2004.11076591>
  42. Aweke CS, Hassen JY, Wordofa MG, et al. Impact assessment of agricultural technologies on household food consumption and dietary diversity in eastern Ethiopia. *J Agric Food Res.* 2021;4:100141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100141>
  43. Djoumessi YF. What innovations impact agricultural productivity in Sub-Saharan Africa? *J Agric Food Res.* 2021;6:100228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100228>
  44. Masiero S. The origins of failure: Seeking the causes of design-reality gaps. *Inf Technol Dev.* 2016;22(3):487-502. DOI: <https://doi.org/10.1080/02681102.2016.1143346>
  45. Oestergaard A, Smidt TF, et al. Musculoskeletal disorders and perceived physical work demands among offshore wind industry technicians across different turbine sizes: A cross-sectional study. *Int J Ind Ergon.* 2022;88:103278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103278>
  46. Briggs M, Huckel Schneider C, Slater H, et al. Health systems strengthening to arrest the global disability burden: Empirical development of prioritised components for a global strategy for improving musculoskeletal health. *BMJ Glob Health.* 2021;6(6):e006045. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-006045>
  47. Skovlund SV, Bláfoss R, et al. Andersen, Association between physical work demands and work ability in workers with musculoskeletal pain: Cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):166. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03191-8>
  48. Oakman J, Weale V, Kinsman N, et al. Workplace physical and psychosocial hazards: A systematic review of evidence informed hazard identification tools. *Appl Ergon.* 2022;100:103614. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103614>
  49. Vos T, Lim S, Abbafati C, et al. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet.* 2020;396(10258):1204-22. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30925-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30925-9)
  50. Crawford JO, Berkovic D, Erwin J, et al. Musculoskeletal health in the workplace. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2020;34(5):101558. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.berh.2020.101558>

51. Fathallah FA, Miller BJ, Miles JA. Low back disorders in agriculture and the role of stooped work: Scope, potential interventions, and research needs. *J Agric Saf Health*. 2008;14(2):221-45. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.24352>
52. Dul J, Douwes M, Smitt P. Ergonomic guidelines for the prevention of discomfort of static postures based on endurance data. *Ergonomics*. 1994;37(5):807-15. DOI: <https://doi.org/10.1080/00140139408963690>
53. Kuijt-Evers LFM, Bosch T, Huysmans MA, Looze MP, Vink P. Association between objective and subjective measurements of comfort and discomfort in hand tools. *Appl Ergon*. 2007;38(5):643-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.05.004>
54. Sperling L, Dahlman S, Wikström L, et al. A cube model for the classification of work with hand tools and the formulation of functional requirements. *Appl Ergon*. 1993;24(3):212-20. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90009-X)