

REDISEÑO TECNOLÓGICO DE UNA HERRAMIENTA MANUAL AGRÍCOLA PARA LA PREVENCIÓN DE LESIONES MUSCULOESQUELÉTICAS EN AGRICULTORES ANDINOS

Cruz- Ausejo Liliana^a, Cano Gallardo Consuelo^b, Valverde Ayte Juan Jose^c, Abad Castillo Jose del Carmen^d, Galea Jerome^e, Bhattacharya Amit^f

FILIACIONES

- a. Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud, Facultad de Medicina Humana, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Lima 15001, Perú.
- b. Departamento de Arte y Diseño. Pontificia Universidad Católica del Perú, San Miguel, Lima 15088, Perú.
- c. Escuela General de Posgrado, Universidad Peruana Unión, Chosica, Lima 15464, Perú.
- d. Facultad de Medicina Humana, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Lima 15001, Perú.
- e. School of Social Work, University of South Florida, Tampa, Florida 33620, USA
- f. Department of Environmental and Public Health Sciences, College of Medicine, University of Cincinnati, Ohio 45267, USA

CORREOS DE AUTORES

ruth.cruz@unmsm.edu.pe
consuelo.cano@pucp.pe
jabadc@unmsm.edu.pe
jeromegalea@usf.edu
BHATTAAT@ucmail.uc.edu

CONTENIDO

Introducción

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) representan una gran prioridad en la salud ocupacional agrícola (1). Particularmente, en países de bajo y mediano ingreso donde prevalencia de TME en hombro y mano-muñeca alcanza el 36.0% y 22%, respectivamente (2). En el Perú, esta situación es relevante en las regiones andinas, donde la agricultura familiar predomina (67%) (3), y las labores como la cosecha de papa se realizan mediante herramientas manuales tradicionales, desarrolladas y transmitidas como parte del conocimiento local. Si bien estas herramientas responden al contexto productivo y cultural (4), las exigencias físicas, posturas forzadas y demanda muscular, asociadas a su uso pueden contribuir al desarrollo de TME (5). En este contexto, la ergonomía y tecnologías como la impresión 3D ofrecen oportunidades para complementar estos saberes mediante procesos de diseño iterativo y adaptado al usuario (6). Este estudio tiene por objetivo desarrollar una propuesta de rediseño tecnológico de una herramienta manual agrícola, integrando criterios ergonómicos y socioculturales. **Fig.1.**



Fig. 1 Agricultores durante la cosecha de papa

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio de métodos-mixtos con enfoque centrado en el usuario, guiado por el modelo de Doble Diamante. Este estudio reporta las dos primeras fases: Descubrir y Definir. La investigación se desarrolló en la localidad de Yanaca, Apurímac. La primera fase integró métodos cuantitativos, se evaluó a 12 agricultores a quienes se midió once indicadores antropométricos, el nivel de riesgo postural (REBA), esfuerzo muscular (bíceps braquial, deltoides anterior, extensor radial del carpo y erector de columna) medido con electromiografía de superficie (EMGs) y confort musculoesquelético durante el uso de la herramienta tradicional. Con un enfoque cualitativo fenomenológico, que exploró percepciones, necesidades, criterios de uso y adopción, recogido mediante entrevistas semiestructuradas a 13 participantes. En la fase Definir, los hallazgos fueron sintetizados en requerimientos de diseño que guiaron la generación conceptual y desarrollo iterativo de prototipos, desde maquetas cardboard a modelos fabricados mediante impresión 3D, siendo retroalimentados en cada etapa.

Resultados

Fase 1: La evaluación postural evidenció que el 83.3% de los participantes presentó alto riesgo según REBA. La electromiografía mostró elevada activación muscular en miembros superiores, especialmente en el extensor radial ($143.6 \pm 56.8 \mu V$) y bíceps braquial ($118.6 \pm 53.3 \mu V$), mientras que el confort percibido fue 38.7 ± 7.2 .

Las mediciones antropométricas permitieron caracterizar el perfil de la población (p5–p95) y establecer un rango de diámetro de agarre entre 37–48 mm. A partir de estos datos, se construyó una curva de acomodación, que permitió definir un rango óptimo entre 39–41 mm, capaz de cubrir aproximadamente al 80% de los usuarios. Desde el enfoque cualitativo, los agricultores destacaron la importancia de la familiaridad con herramientas tradicionales, la reparabilidad y la facilidad de transporte, resaltando la pertinencia cultural y similitud con herramientas locales como factor clave para la adopción.

Fase 2: La integración de los hallazgos permitió estructurar los requerimientos de diseño en bloques clave: funcional, ergonómico, de materiales y sociocultural. Estos criterios guiaron la generación conceptual y el desarrollo iterativo del prototipo mediante procesos de co-creación. La iteración se realizó progresivamente desde maquetas de cartón hasta modelos impresos en 3D (PLA y PETG), incorporando retroalimentación en cada etapa para optimizar dimensiones, funcionalidad y adaptabilidad. Con base en la curva de acomodación, se definió un diámetro de agarre de 39–41 mm y un mango telescópico ajustable entre 84–90.5 cm. El diseño consideró además el uso de materiales compatibles con reparación local (madera) y alternativas de mayor durabilidad para componentes específicos, manteniendo una cabeza funcional dual (punta y hoja) de 21.5 cm. **Fig.2.**



Fig. 2 a) Maqueta cardboard, b) Maqueta 3D: cabezal; c) Maqueta 3D: mecanismo de anclaje.

La iteración se realizó progresivamente desde maquetas de cartón hasta modelos impresos en 3D (PLA y PETG), incorporando retroalimentación en cada etapa para optimizar dimensiones, funcionalidad y adaptabilidad. Con base en la curva de acomodación, se definió un diámetro de agarre de 39–41 mm y un mango telescópico ajustable entre 84–90.5 cm. El diseño consideró además el uso de materiales compatibles con reparación local (madera) y alternativas de mayor durabilidad para componentes específicos, manteniendo una cabeza funcional dual (punta y hoja) de 21.5 cm. **Fig.2.**

Conclusiones

La integración de criterios ergonómicos, antropométricos y socioculturales permitió desarrollar un prototipo de herramienta manual ajustado a las características y prácticas de agricultores andinos. El uso de procesos iterativos y fabricación mediante impresión 3D facilitó la definición de parámetros como el diámetro de agarre y el mango telescópico. Se requieren futuras iteraciones y evaluaciones en campo para validar su desempeño en condiciones reales.

REFERENCIAS

- [1] EU-OSHA, INAIL. Risk assessment upper limbs agriculture [Internet]. 2020 [cited 2026 Apr 1].
- [2] Shivakumar M, Welsh V, Bajpai R, Helliwell T, Mallen C, Robinson M, Shepherd T. Musculoskeletal disorders and pain in agricultural workers in low- and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *Rheumatol Int.* 2024;44(2):235–247. doi:10.1007/s00296-023-05500-5
- [3] Castillo ML. La agricultura peruana, situación post COVID-19 y perspectivas [Internet]. Lima: Friedrich-Ebert-Stiftung; 2021 [cited 2026 Apr 1].
- [4] Maradei F, Jaimes C, Sarmiento S. Síntomas musculoesqueléticos en las actividades de cosecha de mora de Castilla de Piedecuesta, Colombia. *Hacia Promoc Salud.* 2019;24(2):91–106
- [5] Jain R, Meena ML, Dangayach GS. Prevalence and risk factors of musculoskeletal disorders among farmers involved in manual farm operations. *Int J Occup Environ Health.* 2018;1–6. doi:10.1080/10773525.2018.1547507
- [6] Dianat I, Nedaei M, Mostashar Nezami MA. The effects of tool handle shape on hand performance, usability and discomfort using masons' trowels. *Int J Ind Ergon.* 2015;45:13–20. doi:10.1016/j.ergon.2014.10.006

PALABRAS CLAVES	3D-printed	Human factors	Mixed-methods	Agriculture
------------------------	------------	---------------	---------------	-------------