Diseño de un guante recolector de chícharo con tecnología de impresión 3D

A.C. Valdés Álvarez[1], A. Calderón Jiménez [1], L. A. Hernández Sánchez[1], C. Méndez Rivera[1], R. Mora Guadalupe[1]*

[1]Tecnológico Nacional de México/ ITS de Ciudad Serdán, Av. Instituto, Av. Tecnológico S/N, Col la Gloria, Cd Serdán Puebla, México, C.P 75520,
**acalderon@cdserdan.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

En la agricultura actual, el esfuerzo físico requerido para la siembra y la cosecha representa un desafío significativo. Aunque existen tecnologías de recolección disponibles, su alto costo limita su adopción, lo que lleva a los agricultores a depender de métodos tradicionales. Esto implica trabajo manual extenuante para los agricultores, resultando en fatiga y dificultad para cumplir con las metas de producción. Los cultivos, como el chícharo, a menudo sufren pérdidas debido a la falta de cosecha, lo que afecta la economía de los agricultores. Para abordar este problema, se propone el diseño de un guante cortador fabricado con tecnología de impresión 3D. Los resultados mostraron una reducción del 21% en el tiempo de cosecha, una disminución del 15% en lesiones, y un 13% de mejora en la recolección de chícharo de alta calidad.

***Palabras clave**: Agricultores, fatiga, impresión 3D, guante.*

Abstract

In today's agriculture, the physical effort required for planting and harvesting represents a significant challenge. Although harvesting technologies are available, their high cost limits their adoption, leading farmers to rely on traditional methods. This involves strenuous manual labor for farmers, resulting in fatigue and difficulty meeting production goals. Crops, such as peas, often suffer losses due to lack of harvest, which affects the economy of farmers. To address this problem, the design of a cutter glove manufactured with 3D printing technology is proposed. The results showed a 21% reduction in harvest time, a 15% decrease in injuries, and a 13% improvement in harvesting high-quality peas.

***Key words**: Farmers, fatigue, 3D printing, glove*

Introducción

En la sociedad contemporánea, el sector agrícola desempeña un papel de vital importancia, ya que constituye una fuente fundamental de ingresos para diversos grupos de la población, desde los dedicados a la labranza de la tierra hasta los consumidores finales. Estos actores desempeñan un rol directo en el desarrollo económico del país, brindando alimentos y recursos básicos. La región enfrenta desafíos tanto de corto plazo, ligados a la desaceleración económica y sus impactos sobre el bienestar y la solidez de los presupuestos estatales, como de largo plazo, en cuanto a la necesidad de asegurar el desarrollo económico, aprovechando el potencial de la región como proveedora de alimentos, pero atendiendo la conservación de los recursos naturales [1].

La baja en la producción agrícola es consecuencia de múltiples factores, entre los que destacan, por su interés para investigación, los bajos rendimientos agrícolas promedio, la inadecuada asimilación de tecnologías, deficiencias en el proceso de difusión de innovaciones técnicas y una grave desarticulación del sector primario con respecto a la cadena agroindustrial [2]. Si bien existen tecnologías innovadoras disponibles para mejorar la eficiencia de la recolección de cultivos, su adquisición suele ser prohibitivamente costosa, lo que lleva a los agricultores a depender en gran medida de métodos tradicionales de recolección.

Esto implica que los agricultores deban realizar manualmente la ardua tarea de recolectar los cultivos, lo cual genera un agotamiento físico considerable y, lamentablemente, con frecuencia resulta en una incapacidad para alcanzar las metas de producción deseadas. Las consecuencias de no lograr cumplir con los objetivos de producción son significativas, ya que pueden traducirse en la pérdida de frutos no cosechados y en una

disminución generalizada de la productividad agrícola. Además, en muchas ocasiones, los agricultores se ven desfavorecidos al recibir bajos ingresos por su labor cuando no poseen las habilidades requeridas para la recolección eficiente. Un cultivo que ejemplifica claramente los desafíos mencionados es el chícharo, donde se han evidenciado dificultades en su recolección debido a los factores mencionados.

Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) han permeado casi todos los procesos de la vida de las personas; por su parte, la agricultura ha experimentado de manera similar esta evolución. Las TIC se han convertido en un actor indispensable en los modelos de negocios de los agricultores y esto ha permitido el aumento de la inserción de desarrollos tecnológicos en los procesos de agricultura. Adicional, la globalización ha llevado a que los agricultores se vean obligados a utilizar tecnologías en sus cultivos para aumentar la eficiencia y poder disminuir costos de producción [3].

En vista de esta problemática, se ha planteado una solución innovadora: el diseño y la fabricación de un guante cortador utilizando tecnología de impresión 3D. Esta propuesta tiene como objetivo brindar apoyo a los agricultores encargados de recolectar los guisantes, permitiéndoles aumentar la eficiencia de sus operaciones de corte sin poner en riesgo su integridad física. Al implementar este guante cortador, se logró un impacto positivo en la economía de los agricultores, al permitirles alcanzar sus metas de producción de manera más efectiva y reducir las pérdidas causadas por la falta de cosecha.

Metodología

Estado del arte y tipo de investigación:

Se realizó una búsqueda minuciosa de los diseños, modelos, prototipos, herramientas y artilugios en general, asociados a la propuesta que se pretende desarrollar, contemplando el tipo de investigación, de esta forma, concientizar acerca de la originalidad y áreas de oportunidad para la puesta en marcha del proyecto, a continuación, se muestra en resumen lo encontrado relacionado con el tema.

- Cosechadora de chícharo: Son máquinas especializadas diseñadas para recolectar de manera eficiente los chícharos de los cultivos. Estas cosechadoras pueden realizar el corte de los tallos y separar los chícharos de las vainas de manera automática [4].
- Tijeras de cosecha: Son herramientas manuales que permiten cortar los tallos de los chícharos de forma precisa. Estas tijeras suelen tener cuchillas afiladas y mangos ergonómicos para facilitar el proceso de recolección [5].
- Cestas de recolección: Son recipientes utilizados para almacenar y transportar los chícharos recolectados. Estas cestas suelen ser de mimbre o plástico resistente, y están diseñadas para facilitar la ventilación y evitar daños en los chícharos durante el transporte, actualmente en la región de estudio utilizan botes de plásticos o cubetas para solventar la recolección [6].
- Máquinas de cribado: Una vez recolectados, los chícharos pueden pasar por máquinas de cribado para separar impurezas y clasificarlos según su tamaño. Estas máquinas utilizan tamices y sistemas de vibración para realizar el proceso de separación, cabe mencionar que la zona no utiliza máquinas de cribado [6].

Identificar las necesidades del cliente

El primer paso para detectar las necesidades del cliente fue la obtención de una muestra, con la cual, se obtuvo información relevante para el estudio. Para obtener el tamaño ideal de la muestra, se utilizó la siguiente formula [7]:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 (N-1) + Z^2 \sigma^2}$$

Donde:

N = tamaño del universo a estudiar.
σ = desviación estándar de la población.
Z = valor que se obtiene a través de niveles de confianza.

e = es el límite de error muestral admisible.

Datos:

N = 2560 personas (según INEGI 2020)
σ = 122
Z = 1.96
e = 1.8

Al sustituir se obtiene:

$$n: \frac{1.96^2 * 122 * 2560}{1.8^2(2560-1) + 1.96^2 * 122} = \frac{3.84 * 122 * 2560}{3.24(2559) + 3.84 * 122} = \frac{1199308}{8759} = 136.92 = 136\ encuestas$$

Se realizaron encuestas a 136 personas productoras agrícolas, lo cual, permitió conocer las necesidades que se presentan en el momento de sembrar y cosechar dando como resultado lo siguiente tomando en cuenta las preguntas con mayor relevancia:

Se les preguntó ¿cuál era lo más importante para su siembra y su cosecha?, dando como resultado:

- Riego y gestión del agua 30%
- Semillas 20%
- Fertilizantes 10%
- Maquinaria 40 %

Se les preguntó de igual manera ¿Cuál era la parte más importante de toda su cadena de producción?

- Cosecha 60%
- Siembra 30%
- Control 10%

Se les preguntó abiertamente ¿Cuál es el problema en el momento de cosechar?

- Dando como resultado unánime de la existencia de problemas de recolección y complejidad de la tarea (Esta pregunta fue sintetizada), además, de que no llegan a cubrir la totalidad del cultivo por el tiempo y la velocidad del corte del agricultor, trayendo como consecuencias una reducción de la producción esperada con la real cortada.

Dado el resultado se puede inferir que la cosecha es el factor con mayor relevancia para los agricultores, es de aquí donde surge la idea de un guante recolector de chícharo.

Conocer el proceso de cosecha:

Se llevó a cabo una investigación de campo para identificar los diversos procesos de cosecha de chícharo, los cuales, se presentan a continuación [6].

- Determinación de la madurez: Antes de la cosecha, se realiza una inspección para determinar si los chícharos han alcanzado la madurez adecuada para su recolección. Esto se hace verificando el tamaño, el color y la consistencia de las vainas de chícharo.
- Preparación de equipos: Se preparan los equipos y las herramientas necesarias para la cosecha, como cestas, cajas o contenedores para recolectar los chícharos.
- Corte de las vainas: Se cortan las vainas de chícharo de las plantas utilizando las manos. Las vainas se cortan cerca de la planta para evitar dañar las semillas y asegurar una recolección eficiente.
- Recolección de las vainas: Las vainas de chícharo cortadas se recolectan y se depositan en los contenedores o cestas preparados. Es importante manipular las vainas con cuidado para evitar dañar las semillas y preservar su calidad.
- Venta: Los chícharos se venden con diversos clientes, según la conveniencia del recolector.

Diagnóstico:

De acuerdo a la información recabada tomando en cuenta la pregunta sintetizada de la entrevista anteriormente mencionada se puede considerar lo siguiente:

- Los agricultores están preocupados en el corte del chícharo debido a que no cumplen con sus expectativas de producción.
- El corte de chícharo actualmente se realiza de manera manual.
- Actualmente la ganancia de los agricultores se basa en la calidad del corte del chícharo.

Proponer alternativas de diseño:

Para la propuesta de alternativas, se tomaron en cuenta principios de ergonomía, la cual, se define como el estudio científico de las relaciones entre el hombre y su medio ambiente laboral" [8]. Mientras que David Oborne menciona: "La labor de la ergonomía es primero determinar las capacidades del operario y después intentar construir un sistema de trabajo en el que se basen estas capacidades".

En el diseño de las alternativas se proponen diferentes prototipos que cubren las necesidades que presentan los agricultores, dada la revisión previa de metodologías de diseño.

Para ello principalmente se realizó un muestreo de mediciones antropométricas de las manos de los cortadores y cortadoras tomando en cuenta los siguientes elementos de medición.

1. Tamaño de los dedos: el cual fue medido desde el término de la palma hasta el final de los dedos
2. Puño: Tomando en cuenta la medida con el puño cerrado.
3. Palma: tomando las medidas en la parte media, alta y baja de la palma.
4. Pulgar: tomando en cuenta el largo y el ancho del mismo.
5. Índice: tomando en cuenta el largo y el ancho del mismo.

Esto dio como resultado lo necesario para poder comenzar con los diseños preliminares, donde los factores que se evaluaron son los siguientes:

- **Durabilidad:** Debe ser resistente y duradero para soportar el uso repetido en el campo sin rasgarse ni desgarrarse fácilmente.
- **Agarre:** Debería proporcionar un buen agarre para que los recolectores puedan agarrar los chícharos con facilidad y precisión.
- **Flexibilidad:** Debe ser lo suficientemente flexible para permitir movimientos de la mano y los dedos con comodidad, lo que facilita la recolección.
- **Transpirabilidad:** Debe permitir la transpiración de la mano para evitar la acumulación de humedad y sudor, lo que podría ser incómodo durante jornadas largas en el campo.
- **Ajuste adecuado:** Debe estar diseñado para ajustarse de manera segura a la mano del recolector, evitando que se caiga o se deslice durante el trabajo.
- **Resistencia a los elementos:** Debería ser resistente al agua y a la humedad, ya que la recolección de chícharos puede realizarse en condiciones húmedas o después de la lluvia.
- **Facilidad de limpieza:** Debe ser fácil de limpiar, ya que los chícharos pueden dejar residuos en el guante después de la recolección.
- **Protección contra espinas o elementos afilados:** Debe ofrecer cierta protección contra espinas u objetos afilados que puedan estar en el campo y que podrían lastimar las manos del recolector.
- **Material adecuado:** El material del guante debe ser adecuado para la recolección de chícharos, generalmente un material resistente pero suave que no dañe los chícharos.
- **Facilidad de uso:** Debe ser fácil de poner y quitar, lo que ahorra tiempo al recolector.
- **Tamaño variado:** Debería estar disponible en diferentes tallas para adaptarse a las manos de distintos recolectores.
- **Ergonomía:** Debería estar diseñado ergonómicamente para minimizar la fatiga de la mano y mejorar la eficiencia en la recolección.

En resumen, la propuesta presentada tiene como objetivo abordar una serie de necesidades relacionadas con la recolección de chícharo. Al cumplir con estos puntos clave, se logrará un impacto positivo en diferentes niveles, desde el aumento de la producción hasta la protección de los recolectores y el impulso socioeconómico en general.

Tomando en cuenta lo anterior se sintetizó a dos propuestas, donde: un guante cubra por completo la mano y otro donde sólo involucre los dedos de acción de corte, ambos guantes con adaptación de plástico tipo PLA en con una uña sin agarre y otra con agarre adaptándolo al guante, como se muestra en la Figura 1, es importante mencionar que el diseño del guante se centró principalmente en el pulgar y es justamente donde entra la impresión 3D.

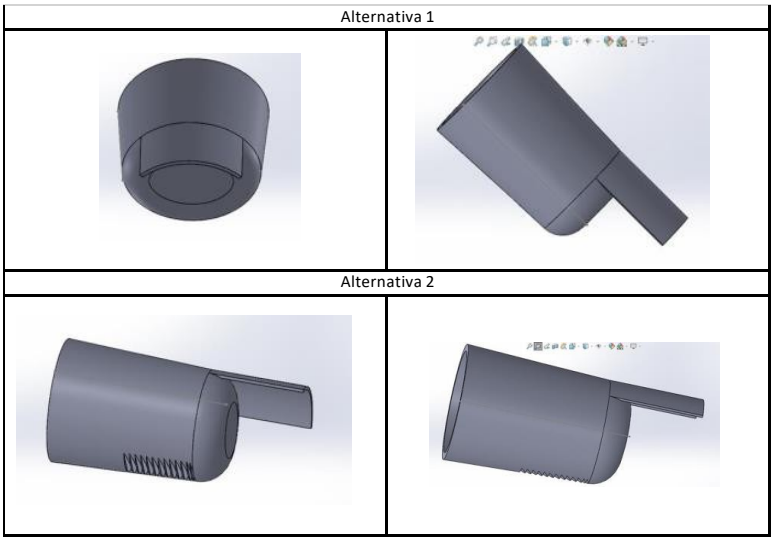


Figura 1. Alternativas

Seleccionar una de las alternativas de diseño:

Para selección de la alternativa se optó por realizar un método por puntos ponderando las características técnicas requeridas por el agricultor (mencionadas en el punto anterior).

Para ello las alternativas de selección fueron:

A. Un guante que cubra por completo la mano
B. Un guante que cubra la palma y los dedos: pulgar índice y medio.

Quedando como resultado por mayor puntaje la opción B.

Diseño de prototipo:

Se realizaron diferentes modelados del prototipo en un software CAD (SolidWorks), empleando diversas técnicas de diseño para materializar la propuesta seleccionada. Al analizar la Figura 2, se puede apreciar claramente la cuidadosa elección del cubrimiento de la mano. En esta etapa, se ha prestado especial atención a los detalles, considerando la ergonomía y la funcionalidad del producto, el diseño sólo cubre los dedos pulgar índice y medio.

Es importante mencionar que, durante el proceso de modelado en el software CAD, se han considerado diferentes variables, como las dimensiones adecuadas para adaptarse a la anatomía de la mano, la resistencia del material seleccionado y la viabilidad de fabricación del prototipo. Se ha buscado alcanzar un equilibrio óptimo entre diseño, funcionalidad y factibilidad técnica.

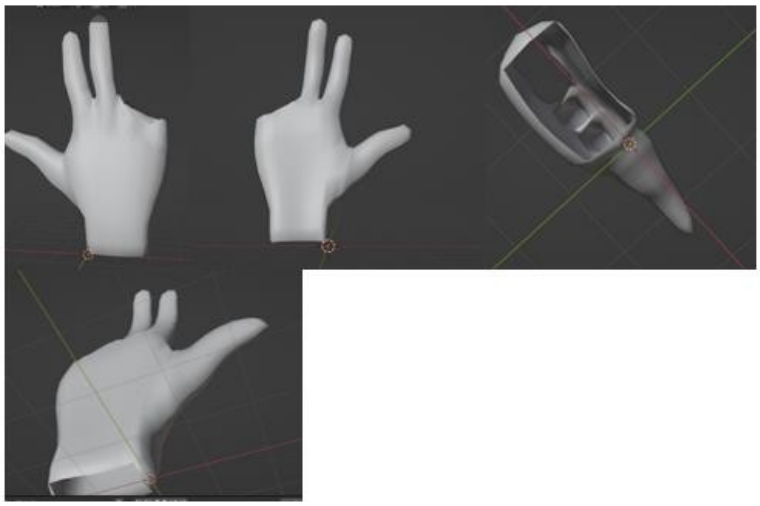


Figura 2. Diseño de guante seleccionado

En resumen, el diseño del guante combina características como las muescas de agarre en el dedo pulgar y la uña extendida, con el objetivo de optimizar el proceso de cosecha de chícharos como se muestra en la Figura 3. Con este enfoque ergonómico y versátil, se busca brindar a los agricultores una herramienta eficiente y cómoda para realizar su trabajo, mejorando así la productividad en el campo.

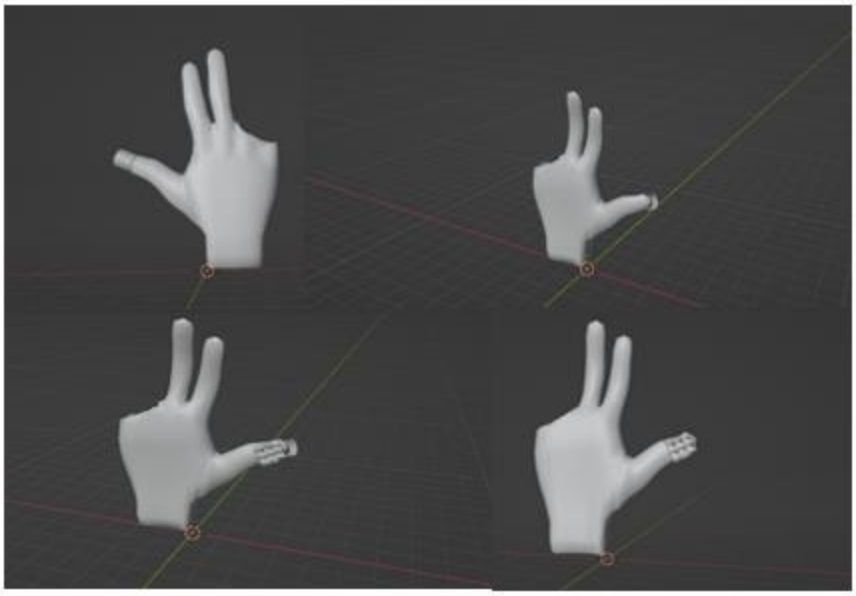


Figura 3. Diseño de guante seleccionado con muestras

El material seleccionado para la impresión 3D fue de Tipo PLA con un rango de fundición para el extrusor de 190° a 220° especificadas por el fabricante y una temperatura en cama de 60°, para la impresión se utilizó una impresora Ender 3 V2. En la Figura 4 se muestra los inicios de impresión y sus resultados.

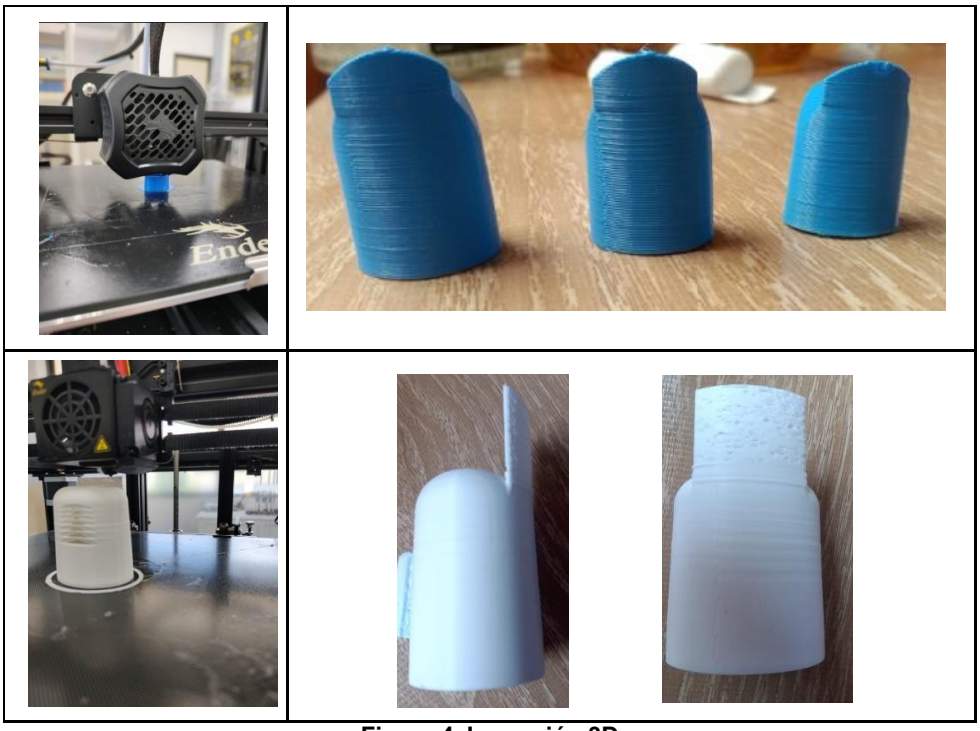


Figura 4. Impresión 3D

Resultados y discusión

Primeros resultados

Se obtuvieron los modelos finales del guante, y de manera provisional se llevaron al campo para poder determinar el grado de aceptación del mismo. Por lo anterior se realizó una nueva encuesta de satisfacción después del uso. Obteniéndose los siguientes resultados.

- El 100% de las personas NO usan dispositivos o herramientas para la cosecha del chícharo.
- El 92 % de las personas entrevistadas presentan lesiones o malestares en el cuerpo después de realizar la cosecha del chícharo.
- Las lesiones y malestares se presentan en: 40% en los dedos de las manos, 25 % en la palma de la mano y 20% en las muñecas de las manos y 15% en la espalda.
- El tiempo promedio del malestar dura entre 6 y 8 horas, siendo el de los dedos de la mano y la muñeca los de mayor duración.
- La intensidad del dolor se cuantifico en una escala del 1 al 5, siendo 1 menor intensidad y 5 de mayor intensidad, donde las personas en promedio manifiestan en una escala del 4 el 35% y en la del 5 el 65%.
- En la actividad de la cosecha del chícharo el 60 % de las personas que cortan son mujeres que rondan entre los 12 y 75 años de edad y el 40% son hombres entre 22 y 64 años de edad.
- El 90% manifiesta que han observado una disminución de sus capacidades diarias por las actividades de cosecha de chícharo, por lo cual, saben de los riesgos a la salud que se tienen, pero todo lo justifican con su necesidad económica y que esto ha sucedido por generaciones en sus núcleos familiares.

Segundos resultados

Se realizaron pruebas de corte chícharo con el prototipo final, capacitando a las personas en su uso, cabe mencionar que dichas pruebas se aplicaron a una cuadrilla de 16 personas de Santa Cruz Texmalaquilla Municipio de Atzizintla Puebla, quienes accedieron a dicho experimento, los resultados fueron los siguientes:

- Se realizó el proceso de cosecha de chícharo con el guante, obteniéndose una reducción del 21% del tiempo final de la jornada.
- Se propusieron movimientos de calentamiento antes de la jornada laboral.
- Se presentó la reducción de las lesiones o malestares en un 15%, en las primeras tres semanas de uso.
- Se realizaron las pruebas en la región de texmalaquilla y en barrio, que son zonas aledañas a Ciudad Serdán.
- Se generó un seguimiento médico de las personas con la finalidad de detectar en su momento enfermedades en desarrollo.
- Se dieron pláticas sobre el riesgo y enfermedades de trabajo que se tienen en la cosecha de los campos mexicanos.
- Se mejoró en un 13% la recolección de chícharo de primera, es decir, el corte fue más definido, no se maltrató la vaina y para los trabajadores se les dio un mejor pago por este, por lo cual, los ingresos económicos de las personas mejoraron significativamente.
- Se solicitó una mejora en el diseño impreso dando como resultado lo presentado en la Figura 5.

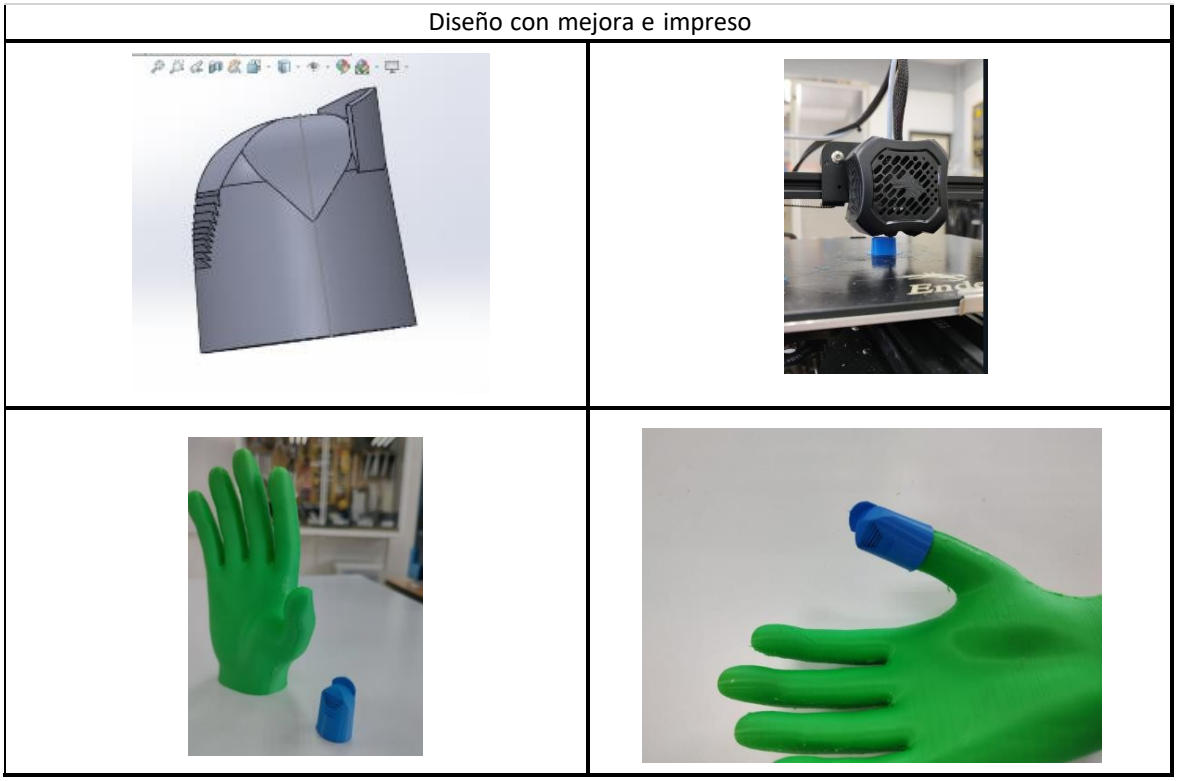


Figura 5. Diseño con mejora e impreso en 3D

Terceros resultados

Se presentó en las personas estudios sobre la tendencia del desarrollo del síndrome de túnel carpiano, dado que las personas en un 44% presentan pérdida de la fuerza en la mano, dado que para la actividad se requiere detalle, y aunque no se tenga un peso significativo de manera individual de una vaina, pero se cargan aproximadamente entre 20 y 23 kilos por persona.

Así mismo, se encontró que el 26% de las personas tienen malestar o dolor cuando realizan movimiento en las muñecas o dedos, fuera de su actividad o jornada laboral, y al ser uno de los síntomas principales de tendinitis, se debe de estudiar más profundamente.

Por todo lo anterior se debe encontraron indicios de dos posibles enfermedades que se están generando derivado de las actividades de cosecha de chícharo.

Trabajo a futuro

En cuanto al trabajo futuro, uno de los objetivos principales será abordar la mejora solicitada, que implica la optimización de la ergonomía del diseño actual. Esta solicitud proviene de la necesidad de garantizar la comodidad y la eficiencia en la interacción con el producto. Además, es esencial destacar que la impresión del diseño en PLA fue utilizando una impresora 3D de filamento, resultó en una estructura mucho más robustas de lo previsto dado a las limitaciones de la impresora Ender 3 V2.

En vista de esta caracteriza, en el próximo estudio se empleará una impresora de resina. Esta elección se basa en la intención de refinar aún más el diseño, buscando lograr una apariencia más delgada y estilizada, sin comprometer la durabilidad y la calidad del producto. La tecnología de impresión en resina nos permitirá explorar nuevas posibilidades de diseño y material, lo que seguramente contribuirá a alcanzar nuestros objetivos de mejora de manera más efectiva.

Conclusiones

El desarrollo y la implementación de un guante cortador fabricado con tecnología de impresión 3D tienen el potencial de revolucionar la recolección de cultivos como el chícharo. Este guante innovador no sólo reduce la fatiga física y el desgaste experimentado por los campesinos durante la cosecha, sino que también aumenta significativamente la eficiencia y la productividad en el campo.

Al utilizar la impresión 3D para fabricar el guante cortador, se logran diseños ergonómicos personalizados que se adaptan perfectamente a la mano de cada usuario. Esto garantiza una mayor comodidad y facilidad de movimiento, permitiendo a los campesinos realizar sus tareas de manera más eficiente y sin el riesgo de lesiones o agotamiento. Además, la ligereza y flexibilidad del material utilizado en la impresión 3D permiten un mejor control y precisión al cortar los chícharos, asegurando que se realice de manera óptima y evitando daños innecesarios a los cultivos, como lo muestra los resultados anteriormente mencionados.

Además, la introducción de esta tecnología en la agricultura tiene un impacto significativo en la economía de los agricultores. Al mejorar la eficiencia en la recolección, se logran mayores volúmenes de chícharos cosechados en menos tiempo. Esto no sólo aumenta los ingresos de los campesinos, sino que también reduce la pérdida de cultivos debido a retrasos en la cosecha. Al tener la capacidad de cumplir con las metas de producción, los agricultores pueden satisfacer la demanda del mercado y garantizar la entrega oportuna de sus productos, lo que genera mayores oportunidades de negocio y una posición más sólida en la cadena alimentaria.

Por otro lado, el uso de tecnología de impresión 3D en la fabricación del guante cortador abarata los costos en comparación con las tecnologías existentes en el mercado. Esto abre la puerta a una mayor accesibilidad para los agricultores, evitando así la necesidad de recurrir a métodos tradicionales que resultan en una menor eficiencia y mayores dificultades físicas.

En resumen, la implementación de un guante cortador fabricado con tecnología de impresión 3D representa una solución innovadora y prometedora para los problemas actuales en el campo. Este enfoque mejora la eficiencia y la productividad en la recolección de cultivos como el chícharo, al tiempo que protege la integridad física de los campesinos. Además, proporciona beneficios económicos tanto a nivel individual para los agricultores, como a nivel macroeconómico para el desarrollo y crecimiento del sector agrícola.

Agradecimientos

Al departamento de investigación del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Serdán por su invaluable apoyo e impulso.
A los campesinos que brindaron su tiempo y disposición para este trabajo.

Referencias

[1] M. Araya y C. L. Quesada, erspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe, México: IICA, 2009.

[2] R. E. López, M. C. Valle y J. L. Solleiro, El cambio tecnológico en la agricultura y las agroindustrias en México: propuesta para una nueva dinámica en la actividad productiva, México: Siglo XXI, 1996.

[3] F. A. Simaca, J. A. Páez, E. C. Díaz y J. V. Palacio, La agricultura de precisión y herramientas TIC de apoyo, Colombia: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia, 2023.

[4] OXBO, «OXBO,» 23 Abril 2023. [En línea]. Available: https://oxbo.com/es/products/oxbo-epd540e/. [Último acceso: 2023 Abril 2023].

[5] «Sembralia,» 2021 01 2021. [En línea]. Available: https://sembralia.com/blogs/blog/tijeras-de-podar. [Último acceso: 26 04 2023].

[6] C. S. C. Texmalaquilla, Interviewee, *Chicaro y recolección.* [Entrevista]. 22 11 2022.

[7] M. R. Spiegel y L. J. Stephens, Estadística., México: Mc Graw-Hill, 2009.

[8] M. K, Ergonomía. Hombre en su ambiente de trabajo, Reino Unido: Chapman and Hall , 1965.