

Diseño de máquina para mejorar el proceso de cosecha de papa en Nariño, Colombia*

Design of a Machine to Improve the Potato Harvesting Process in Nariño, Colombia

Cédric Jacques Duquesne Malsergent^{ac}, Óscar Germán Ramos Ordóñez^{ad}, Paola Carolina Vallejo Benítez^{be}

^a Grupo de Investigación LOPEINVESTIGACIONES, Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Colombia

^b Área de Gestión de Mercados, Centro Sur Colombiano de Logística Internacional, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Colombia

^c ced.duquesne@miSENA.edu.co | <https://orcid.org/0000-0003-0622-0218>

^d oramoso@SENA.edu.co | <https://orcid.org/0000-0003-4963-8972>

^e pcvallejo@miSENA.edu.co | <https://orcid.org/0000-0001-6512-5427>

Citation: Duquesne Malsergent, C. J., Ramos Ordóñez, O. G. y Vallejo Benítez, P. C. (2022). Diseño de máquina para mejorar el proceso de cosecha de papa en Nariño, Colombia. *Mutis*, 12(1). <https://doi.org/10.21789/22561498.1779>

Recibido: 1 de julio de 2021
Aceptado: 15 de septiembre de 2021

Copyright: © 2022 por los autores. Licenciado para *Mutis*. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

RESUMEN

Dentro del proceso de producción de papa (*Solanum tuberosum*), las etapas de cosecha y clasificación son las que requieren mayor mano de obra. El producto, después de salir del suelo, debe estar protegido del sol para evitar su deterioro y posterior pudrición, lo que conlleva la necesidad de realizar el proceso en el menor tiempo posible. La topología montañosa de Nariño impide el uso de maquinaria pesada. Además, su adquisición no se justifica para los pequeños terrenos que poseen la mayoría de los productores del departamento. Por estas razones, la producción de papa carece de asistencia técnica y de maquinaria adaptada, con lo cual se reduce su rentabilidad y sostenibilidad, por la alta necesidad de jornales y la pérdida del producto por deterioro. El propósito del proyecto es el de proponer un diseño de detalle — incluyendo planos de manufactura— de una máquina adaptada a las condiciones y necesidades de los cultivos de papa de Nariño, que permita mejorar la eficacia del proceso de cosecha y sea puesta a disposición de la comunidad productiva y académica para que puedan aprovechar sus beneficios. Para lograrlo, se aplicó la metodología de diseño de producto en contexto. El diseño se realizó aprovechando las competencias de los aprendices del SENA, que participaron como coinvestigadores y pudieron aplicar las competencias adquiridas en un contexto práctico como parte de su proceso formativo. La solución propuesta se diseñó de tal manera que se pueda fabricar localmente con materiales accesibles por los productores.

Palabras clave: agroindustria, desarrollo tecnológico, diseño mecánico, *Solanum Tuberosum*, tecnificación

ABSTRACT

Within the potato (*Solanum tuberosum*) production process, harvesting and classification stages require the most labor because the product, after leaving the ground, must be protected from the sun to avoid its deterioration and subsequent rotting. These stages entail the need to conduct the process in the shortest possible

* Este artículo presenta los resultados del proyecto de innovación y desarrollo tecnológico titulado “Diseño de una cosechadora de papa (*Solanum tuberosum*) para reducir los tiempos y costos de los procesos agrícolas en el departamento de Nariño”, desarrollado en el SENA, Centro Internacional de Producción Limpia Lope, San Juan de Pasto, departamento de Nariño, Colombia, en la vigencia 2017.

time. Unfortunately, the mountainous topology of the Nariño department, in Colombia, prevents the use of heavy machinery. Furthermore, its acquisition is not justified for the small plots owned by the majority of the department's producers. For these reasons, potato production lacks technical assistance and adapted machinery, and its profitability and sustainability are reduced due to the high need for wages and product loss due to deterioration. The purpose of this project is to propose a detailed design—including manufacturing plans—of a machine adapted to the conditions and needs of the potato crops in Nariño. Such machine will improve the efficiency of the harvesting process and will be made available to the productive and academic community, so that they can take advantage of its benefits. To achieve this, the methodology of product design in context was applied. The design was made taking advantage of the skills of the National Learning Service (SENA) apprentices, who participated as co-researchers and were able to apply the skills acquired in a practical context as part of their training process. The proposed solution was designed in such a way that it can be manufactured locally with materials accessible to producers.

Keywords: alginate, seed preservation, gelling agents, Orchidaceae, synthetic seeds.

INTRODUCCIÓN

La importancia de la papa (*Solanum tuberosum*) reside, por una parte, en su lugar en la dieta mundial, con más de 246 millones de toneladas consumidas anualmente, lo que la hace uno de los cultivos alimenticios más valiosos del mundo para el consumo humano, debido a su propiedades nutricionales y a su versatilidad en gastronomía; y, por otra parte, a su posición en el mercado mundial, con una producción mundial que supera los 373 millones de toneladas al año, con una superficie total de cultivo de 17 millones de hectáreas; América del Sur representa cerca del 5% de esta producción (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017).

El uso de la papa no se limita a la alimentación humana, sino que también se utiliza para la alimentación del ganado, y su almidón se aprovecha en las industrias farmacéutica, textil, de la madera, del papel, como adhesivo, aglutinante, texturizado y relleno, y por las compañías que perforan pozos petroleros, para lavarlos. El almidón de papa es un sustituto 100% biodegradable del poliestireno y se puede licuar para obtener etanol (FAO, 2008).

Según cifras del Consejo Nacional de la Papa en Colombia, en 2015 se produjeron 2.696.660 toneladas de papa en el país, lo que representa cerca del 20% de la producción del continente latinoamericano. Igualmente, 90.000 agricultores colombianos se vinculan directamente a la producción de papa, el 95% de ellos son pequeños productores que siembran menos de tres hectáreas. Otras 400.000 familias dependen indirectamente del cultivo de la papa a través de actividades relacionadas como el comercio de semillas, los agroinsumos, el transporte terrestre y la comercialización (Corpoica, 2014). Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2018), los principales departamentos productores de papa son Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia y Santander, que contribuyen con el 90% de la producción total nacional.

En Nariño, la producción de papa es la actividad agropecuaria que genera más ingresos y empleo: 25.000 familias viven exclusivamente de esta actividad, con terrenos que pasan de generación en generación (Corpoica, 2014). El área sembrada total en Nariño es de 23.600 hectáreas, sobre la cual se producen 514.020 toneladas, con un rendimiento de 21,42 toneladas por hectárea. Entre el 2010 y el 2015, Nariño fue el departamento con el menor crecimiento de la productividad, con un 5,72% (Consejo Nacional de la Papa en Colombia, 2015).

Como se menciona en el *Informe de gestión anual* de Fedepapa (2015), el cultivo de la papa presenta una gran heterogeneidad en las tecnologías usadas y en los tipos y sistemas de producción; algo que se manifiesta principalmente en la variación de los costos unitarios de producción y los rendimientos agronómicos. Entre estos, se pueden establecer dos sistemas de producción diferenciados: el tradicional y el tecnificado. El tradicional es localizado generalmente en laderas, por lo que es escasamente mecanizable y es practicado por pequeños productores, que representan el 80% del sector papero del departamento, con menos de tres hectáreas de terreno cultivable (Gobernación de Nariño, 2019). El tecnificado se concentra en zonas de producción de topografía plana y es practicado por grandes productores que cuentan con los recursos necesarios; este sistema es más intensivo en mecanización, utiliza semilla de buena calidad y recibe asistencia técnica.

Es pertinente señalar que los pequeños productores están particularmente afectados por los cambios climáticos, las fluctuaciones del mercado, la dificultad de conseguir mano de obra y los nuevos retos planteados por el posconflicto. Ellos no cuentan con los conocimientos ni los recursos para adquirir y manejar por sí mismos las herramientas tecnológicas necesarias para mejorar el rendimiento de sus terrenos, sus ganancias, su sostenibilidad financiera y reducir su impacto ambiental, o para aportar valor agregado a su producto, reducir la necesidad de intermediarios y adaptarse a las nuevas condiciones del entorno a las cuales están sometidos.

Nariño es un territorio de 33.268 km², ubicado al suroccidente de Colombia. Limita por el norte con el departamento del Cauca, por el este con el departamento del Putumayo, por el sur con la República del Ecuador y por el oeste con el océano Pacífico. En él confluyen el Pacífico, el piedemonte de la Amazonía, los Andes y la frontera internacional de Colombia con Suramérica. Según estimaciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2020), la población total del departamento en 2018 fue de 1.630.592 habitantes.

Según estimaciones del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT, 2019), en Nariño 418 personas participan en procesos de innovación y desarrollo tecnológico, lo que representa menos del 0,8% del personal que participa en estas actividades en el país. Con miras a avanzar en una estrategia que modernice el aparato productivo del departamento, se han realizado esfuerzos de articulación entre el sector productivo y las entidades generadoras de conocimiento a través del Consejo Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación (CODECTI), la Comisión Regional de Competitividad y el Comité Universidad Empresa Estado. Según el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario 2017-2027, Colombia tiene acceso al Comité de Política Científica y Tecnológica y al Comité de Agricultura en el marco de su ingreso a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), lo cual apoya la necesidad de aplicar las políticas de desarrollo tecnológico que promueve este organismo internacional (Corpoica, 2016). Si bien la acción interinstitucional para la articulación de los sectores productivo y generadores de conocimiento ha tenido una continuidad manifiesta en los últimos

años, a través de los órganos de coordinación que establece la Ley 1286 de 2009, su incidencia en el desarrollo regional es aún precaria, así la capacidad de científicos se haya ido incrementando progresivamente en el departamento.

Uno de los objetivos del Plan Regional de Competitividad 2010-2032 es el de “fortalecer el proceso de transformación productiva con base en el desarrollo científico, tecnológico y la innovación para dar valor agregado a nuestros productos y servicios y mejorar el desarrollo productivo de Nariño” (Comisión Regional de Competitividad de Nariño, 2009). En este mismo plan se prioriza la cadena de la papa dentro del sector productivo agropecuario del departamento, al igual que en el CONPES 3811 de 2014 (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2014). Adicionalmente, el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Gobernación de Nariño, elaborado en 2012, reporta las demandas de investigación en varios cultivos, incluyendo en particular el de la papa.

Según el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano del Departamento de Nariño - 2017, la papa es el producto más importante de la región andina del departamento en términos de producción, con un rendimiento promedio de 15,9 toneladas por hectárea, contra 18,7 toneladas por hectáreas a nivel nacional (Corpoica, 2017). La papa se produce en 50% de los municipios de Nariño; los más importantes son Tuquerres, Pasto, Ospina, Pupiales, Sapuyes, Ipiales, Gualmatan y Cuaspud (Gobernación de Nariño, 2019). Según lo informado en el Plan Departamental de Extensión Agropecuaria de Nariño (PDEA - Nariño), de la Gobernación, “la producción es de tipo tradicional, con escasa innovación y adopción de nuevas tecnologías; el apoyo institucional es deficiente”.

En Colombia, las zonas de producción de papa se sitúan entre los 2000 y los 3500 m.s.n.m., porque su cultivo se beneficia del clima frío tropical (DANE, 2017). Según la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2016), en las cordilleras de Nariño los cultivos de papa se presentan en altitudes desde los 2700 m.s.n.m., en áreas poco inclinadas con siembras mecanizadas, hasta los 3500 m.s.n.m., en quebradas con pendientes de difícil acceso, donde pequeños agricultores practican un sistema de cultivo ancestral como el guachado.

Al rendimiento limitado de la producción tradicional practicada por la mayoría de productores de Nariño, se agrega el hecho de que los supermercados o tiendas de cadena compran la papa de otras regiones. Esto sucede porque el departamento no prepara el producto como lo piden o exigen dichas tiendas. Inclusive la misma papa local es llevada al mercado mayorista, cuya sede principal es Corabastos, donde la compran, lavan y es enviada nuevamente a nuestros municipios para la venta. Ese valor agregado no es generado por los mismos productores, lo que representa una pérdida de ganancia para ellos.

Otra problemática que limita la tecnificación de su producción es la dificultad para realizar la transferencia de nuevas tecnologías a los productores, por su nivel de escolaridad, la falta de seguimiento y la fuerza de sus costumbres, que en ocasiones los hace reacios al cambio. Con el desarrollo de este proyecto se pretende brindar una solución tecnológica que beneficie al sector agrícola: el diseño de una máquina accesible para todos los productores, con un bajo costo y el uso de recursos disponibles localmente. Se busca así el mejoramiento de la producción, más rápida y con menor necesidad de mano de obra, a fin de obtener una mayor rentabilidad y competitividad para los agricultores del departamento.

Materiales y métodos

El presente trabajo se efectuó bajo los lineamientos de proyectos de desarrollo tecnológico, basados en una metodología de diseño y desarrollo de productos en contexto con la aplicación de la estrategia PLM (Product Lifecycle Management), que permite la planeación, ejecución, sistemas de control y seguimiento, y evaluación de las diferentes fases. La estrategia integra una serie de competencias a través de un enfoque interdisciplinario; en concreto, se ponen en práctica las competencias adquiridas de los aprendices en los diversos programas de formación del SENA participantes en la ejecución del proyecto.

Se comenzó con la planeación del proyecto (figura 1): se formuló la definición de parámetros, el espacio por utilizar y la investigación de equipos y talento humano necesarios para cada actividad por desarrollar. En la implementación del proyecto se efectuó un diseño detallado, que contiene cálculos, bocetos en 2D, modelamiento y ensamble en 3D, simulaciones de funcionamiento y planos taller del producto. En los procesos de seguimiento y control se emplearon formatos que permiten un manejo eficiente de la ejecución de cada actividad planeada, con un respaldo desde el estudio de riesgos posibles y soluciones efectivas a cada potencial problema. Para la evaluación del proyecto, se ha manejado una documentación completa de las diferentes fases realizadas, y se han validado los resultados esperados, que garanticen eficiencia, menor tiempo en la ejecución de los procesos, mayor productividad y la optimización de los procesos de producción y gestión.

Figura 1. Metodología del proyecto de diseño de cosechadora de papa



Fuente: Autores.

Todo lo anterior derivó en la consolidación de parámetros de funcionalidad que impacten el sector productivo y permitan la creación de nuevas empresas que apoyen el desarrollo económico del departamento. La información tratada para definir los requerimientos de diseño fue primaria y secundaria, con recolección de información mediante observación, encuestas, uso de bases de datos técnicas y científicas y documentos elaborados en trabajos de investigación anteriores relacionados. Para definir los conceptos por aplicar en la ejecución del proyecto, se consultaron referencias bibliográficas en los diferentes idiomas disponibles, para finalmente abordarlos en el marco conceptual del documento del proyecto.

Resultados

Antes de proponer soluciones técnicas a la problemática planteada, se deben definir las necesidades que debe cumplir el producto, las condiciones de trabajo y las expectativas de los beneficiarios, para asegurar la pertinencia de la solución propuesta. De no hacerlo, se corre el riesgo de desarrollar el proyecto en vano, sin alcanzar los objetivos formulados. Para definir las necesidades y especificaciones técnicas del producto, la primera etapa fue realizar un levantamiento de campo con los expertos del área de la producción de *Solanum tuberosum*, a fin de recolectar las informaciones detalladas del proceso de cosecha de la papa, con sus condiciones intrínsecas, sus limitaciones, sus requerimientos y la situación geográfica específica de la región objeto del proyecto.

La máquina cosechadora de papa se diseñó en el Centro Internacional de Producción Limpia - Lope del SENA, que cuenta con tres sectores: comercial, agropecuario y agroindustrial. El sector agropecuario de la finca Lope tiene 82 Ha, sobre los cuales se practican varios cultivos dedicados a la formación técnica y tecnológica de los aprendices, entre los cuales 3000 m² son de cultivo de papa, como se observa en la figura 2; cuenta además con instructores altamente calificados y expertos en el tema. Lo anterior brinda condiciones ideales para definir los requerimientos de diseño de la máquina, efectuar el seguimiento del proyecto y asegurar su pertinencia.

Figura 2. Cultivo de papa en la finca Lope



Fuente: Autores.

A partir de las entrevistas realizadas a productores en el centro de investigaciones de Corpoica, en Obonuco, y a los instructores del área agropecuaria del Centro Internacional de Producción Limpia - Lope, en Pasto, se pudieron recolectar datos importantes para el diseño y examinar una cosechadora de papa convencional utilizada con tractor (figura 3).

Figura 3. Cosechadora de papa de Corpoica



Fuente: Autores.

La cosecha se puede realizar cada seis meses, aunque generalmente solo se hace una vez al año y debe darse en un momento preciso, que depende del

estado de la papa, del clima y de los precios en el mercado. Muchas veces se debe hacer con un terreno mojado, lo cual vuelve la tierra más densa y puede dificultar el uso de maquinaria con rodillos y banda transportadora. La clasificación de la papa en función del tamaño se hace en el sitio en el momento de la cosecha, para ahorrar tiempo y evitar que la papa se dañe al estar expuesta a los elementos. Al sacar la papa del surco, la máquina debe quedar encima de la tierra para efectuar el proceso.

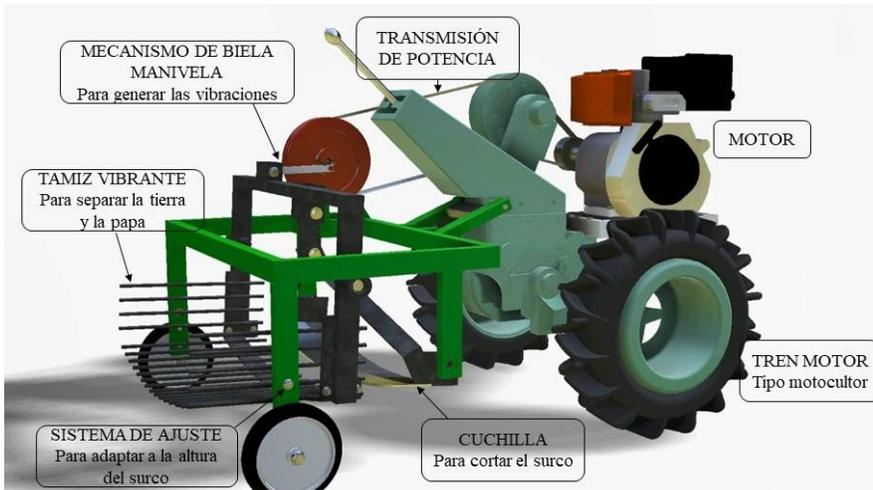
En promedio, se pueden llenar 500 bultos de papa por hectárea cosechada. Haciendo el proceso a mano, se pueden recoger hasta 10 bultos por día por persona, en función del terreno, lo cual implica un trabajo en equipo de 25 personas durante dos días para cosechar una hectárea, y da lugar a costos importantes. Contratando menos jornales, la cosecha se puede realizar en más tiempo, pero con el riesgo de perder el momento correcto para la cosecha y de exponerse a un cambio repentino del clima. El objetivo de la máquina cosechadora es el de desarrollar este proceso en un solo día, requiriendo una persona para operarla y alrededor de cuatro personas para recolectar y clasificar, a medida que se va sacando el producto del surco.

Los terrenos más abruptos en Nariño para los cultivos de papa pueden llegar hasta una pendiente del 20%. Los surcos para el cultivo de papa tienen un ancho promedio de 90 cm y una altura de 40 cm; la papa llega a una profundidad máxima de 20 cm desde la cresta del surco y se reparte sobre un ancho de alrededor de 20 cm.

A partir de las informaciones obtenidas y del estudio de las máquinas existentes y disponibles en la región, que se pudieron observar en el SENA y en Corpoica, se realizaron diseños conceptuales preliminares en forma de bocetos de diferentes soluciones posibles. Al cabo de esta etapa, se retuvo una solución mecánica motorizada utilizando el tren motor de tipo motocultor, al cual se acopla una cuchilla para cortar el surco y un sistema de tamizaje por vibraciones para extraer y separar la papa de la tierra, dejándola en la superficie del surco cortado, lista para ser clasificada y empacada. La solución propuesta integra también un sistema de vibración para la cuchilla, a fin de permitir el corte correcto del surco y evitar el atascamiento por acumulación de tierra, y el ajuste posible de la altura de ataque de la cuchilla en función del surco para asegurarse de no dañar la papa al momento de cosecharla.

Después de elaborar las propuestas en bocetos, se estructuraron en 3D varios y sencillos diseños CAD (Computer-Aided Design), con el propósito de poder visualizar y analizar más en detalle los diferentes mecanismos de la máquina, hacer los cálculos y dimensionar sus elementos (figura 4).

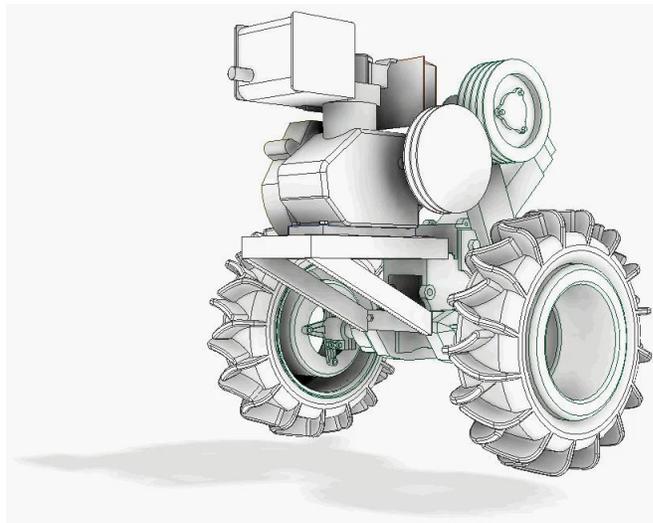
Figura 4. Diseño 3D preliminar



Fuente: Autores.

Tomando como referencia los motocultores utilizados en los terrenos empinados de la región y teniendo en cuenta la masa de tierra húmeda que tendrá que ser desplazada por la máquina para extraer la papa del surco, se escogió el uso de un motor diésel de 14 HP y 1800 RPM, de 53 kg de motocultor. La transmisión que permite la propulsión de la máquina se compone del diferencial, del embrague, de la caja de cambios y de las llantas delanteras. Para nuestra máquina, escogimos una transmisión de motocultor de 8 velocidades, de 200 kg, 20 cm de alto con un ancho de vía de 100 cm, adaptado al tamaño de los surcos de cultivo de papa (figura 5).

Figura 5. Tren motor con transmisión



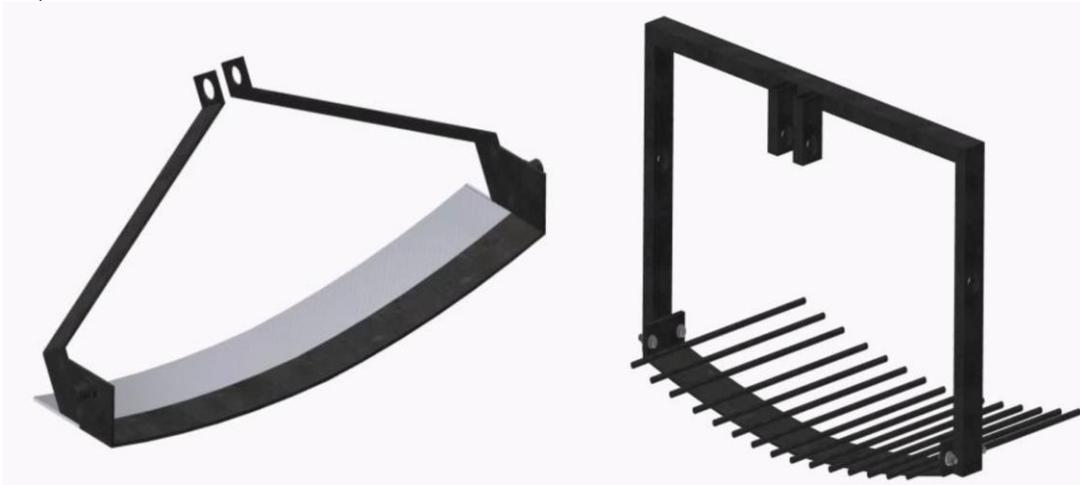
Fuente: Autores.

Para los movimientos de vibración, se optó por el uso de un mecanismo de biela manivela para realizar los movimientos de atrás hacia delante de la cuchilla y

del tamiz. Inicialmente, la transmisión entre el motor y el mecanismo de biela manivela se había previsto mediante el uso de poleas con correas, por razones económicas; sin embargo, las condiciones exteriores difíciles durante la cosecha, la presencia de tierra que puede estar húmeda y las vibraciones podrían hacer patinar o incluso saltar las correas y, por lo tanto, reducir la confiabilidad del sistema, impidiendo el correcto movimiento del sistema de cuchilla. Por lo anterior, se optó por una transmisión con engranes, piñones y cadenas desde la toma de fuerza del motocultor.

La cuchilla (figura 6) tiene un ancho de 86 cm, que permite abarcar el surco completo con una curvatura convexa hacia abajo para llegar a una profundidad de 40 cm, asegurándose de sacar toda la papa sin cortarla. El tamiz (figura 6) permite separar la papa de la tierra y dejarla encima del surco para su recolección. Su vibración estará sincronizada con la cuchilla.

Figura 6. Cuchilla y tamiz 3D



Fuente: Autores.

La estructura del mecanismo para la cuchilla es ajustable en altura y, por lo tanto, cuenta con posiciones de ajuste diferentes para las ruedas traseras, a fin de asegurarse de adaptar la profundidad de corte al surco. Los materiales utilizados para las diferentes partes de la máquina dependen de su funcionalidad, de su disponibilidad en la región y de su precio.

Para el diseño de la estructura se usaron perfiles rectangulares de acero lámina HR 1×2 pulgadas de 2 mm de espesor, los cuales están protegidos contra el óxido, dadas las condiciones exteriores en las cuales se usará la máquina; son además resistentes y económicos. La cuchilla es la pieza que más resistencia deberá tener, porque aplicará toda la fuerza en contacto directo con la tierra y con las posibles rocas, con el fin de cortar el surco. Para obtener una forma curva convexa con el objetivo de cortar el surco por debajo de la papa, se decide aprovechar las láminas de suspensión de camionetas de 3 mm de espesor, que son muy resistentes y dúctiles. El resto del mecanismo se realiza en acero C40, por su fácil disponibilidad, su bajo precio y su resistencia.

Para determinar la frecuencia adecuada de la cuchilla, se calcularon las relaciones de la transmisión por poleas (figura 7), con el propósito de definir los diá-

metros de poleas necesarios para obtener una vibración de 10 Hz en salida, correspondiente a una velocidad de rotación de la polea que acciona la biela de 600 rpm:

$$f(\text{Hz}) * 60 = N (\text{rpm}) \quad [1]$$

$$10 \text{ Hz} * 60s = 600 \text{ rpm} \quad [2]$$

Donde:

f: frecuencia en Hz (s^{-1}).

N: velocidad de rotación de la polea del sistema de cuchilla y tamiz en rpm (revoluciones por minuto).

La velocidad de rotación del engrane de salida de la toma de fuerza es de 1800 rpm en el régimen de trabajo, por lo que, para obtener la frecuencia requerida, se necesita una relación de transmisión de 1/3:

$$\tau = \frac{N_e (\text{rpm})}{N_s (\text{rpm})} \quad [3]$$

$$\tau = \frac{1800 \text{ rpm}}{600 \text{ rpm}} \quad [4]$$

Donde:

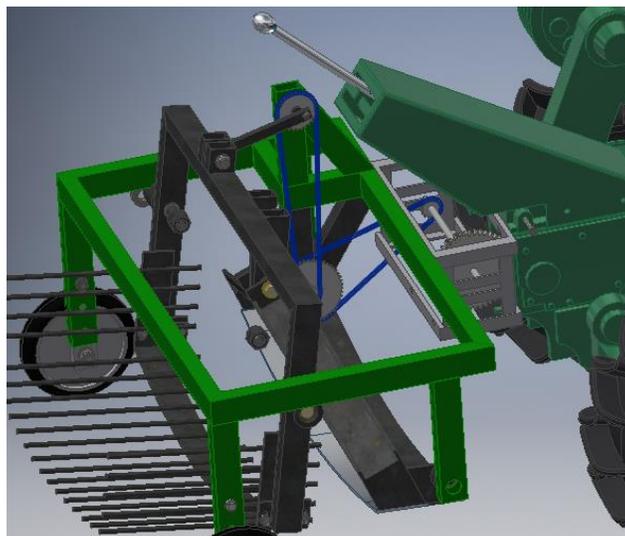
τ : relación de transmisión (sin unidad).

N_e : velocidad de rotación de la toma de fuerza en rpm.

N_s : velocidad de rotación de la polea del sistema de cuchilla y tamiz en rpm.

Para llegar a esta relación de transmisión, se dimensionaron las poleas y los engranes entre la salida de la toma de fuerza y la biela, teniendo en cuenta las dimensiones normalizadas que se pueden encontrar en el mercado, para reducir los costos de fabricación.

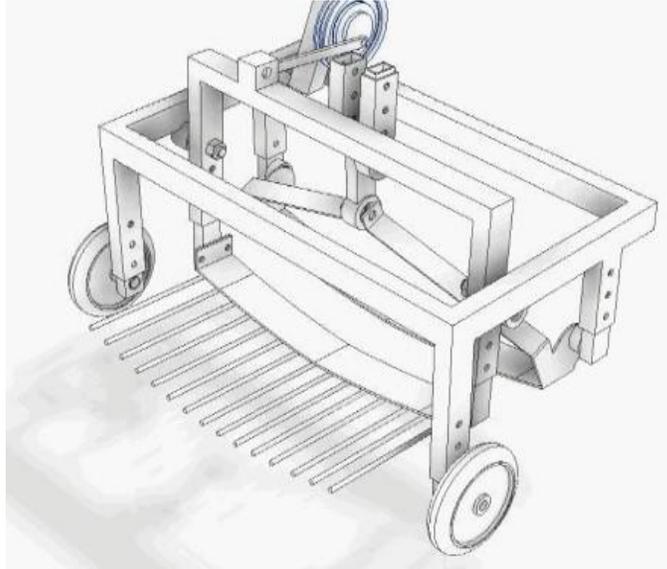
Figura 7. Transmisión: toma de fuerza



Fuente: Autores.

De igual manera, definimos las dimensiones del mecanismo biela manivela (figura 8) para obtener un recorrido de la cuchilla de 5 cm, usando el teorema de Tales y ajustando su geometría.

Figura 8. Mecanismo de biela manivela: cuchilla y tamiz



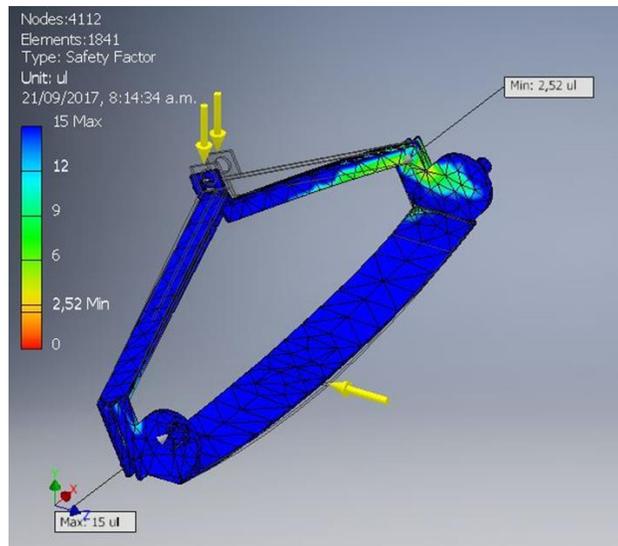
Fuente: Autores.

Como se mencionó, la transmisión entre el motor y el mecanismo de biela manivela para los movimientos de vibración se propuso mediante el uso de poleas con correas, por razones económicas; sin embargo, las condiciones exteriores difíciles durante la cosecha, la presencia de tierra húmeda y las vibraciones podrían hacer patinar o incluso saltar las correas y, por lo tanto, reducir la confiabilidad del sistema, impidiendo el correcto movimiento del sistema de cuchilla. Por lo anterior, se optó por una transmisión con engranes, piñones y cadenas desde la toma de fuerza del motocultor.

Como siguiente etapa, se realizó el diseño CAD 3D en detalles de la máquina con todos sus elementos modelizados, para poder efectuar las simulaciones y análisis de elementos finitos necesarios para validar virtualmente su funcionamiento antes de empezar la manufactura de sus elementos. La cuchilla está diseñada para poder resistir fuerzas de 2000 N, teniendo en cuenta el volumen de tierra desplazado en condiciones de lluvia y las posibles piedras que se puedan encontrar en el surco.

Gracias al análisis por método de elementos finitos (Finite Element Analysis) asistido por computadora, se estima que la cuchilla resistirá con un factor de seguridad superior a 2,5 en dichas condiciones (figura 9).

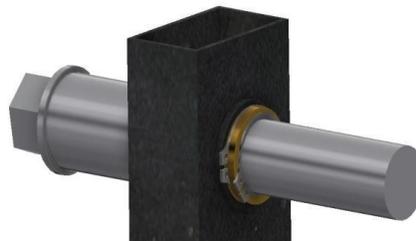
Figura 9. Análisis FEA de cuchilla, factor de seguridad



Fuente: Autores.

Las juntas para los movimientos de rotación de los diferentes elementos de los mecanismos de la cuchilla y del tamiz se diseñaron con ejes en acero y bujes en cobre (figura 10), para reducir la fricción y aumentar la vida útil. Los bloqueos axiales se realizan con anillos de sujeción.

Figura 10. Eje de cuchilla



Fuente: Autores.

Con las mismas condiciones de fuerzas aplicadas a la cuchilla, se realiza el FEA en el eje, a través de lo cual se comprueba su resistencia con un factor de seguridad de 2,4. Asimismo, se aplica el FEA sobre el soporte del motor y se evidencia un desplazamiento máximo de 0,047 mm, el cual es insignificante frente a las dimensiones del sistema y no tendrá influencia sobre los ajustes de las poleas con las bandas para los mecanismos de transmisión. Después de los ajustes realizados, las validaciones de resistencia de materiales y de los mecanismos, se desarrolló el diseño del prototipo 3D completo final por CAD (figura 11).

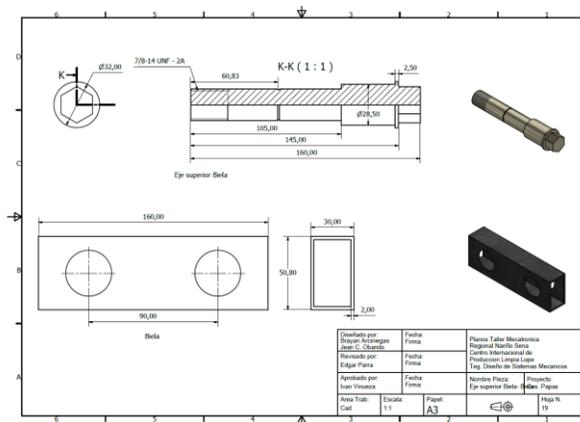
Figura 11. Prototipo 3D final



Fuente: Autores.

Para la validación final del diseño de la solución técnica propuesta para la tecnificación de la cosecha de papa en el departamento de Nariño, se necesita la fabricación del prototipo funcional a escala real, en clave de probarlo en el campo junto a los productores y a los expertos, y así comprobar que cumple con todos los requerimientos definidos. El alcance del proyecto presentado en este artículo se limita a la ejecución del diseño en 3D asistido por computadora con su validación virtual y a la generación de planos de manufactura (figura 12). La máquina fue diseñada con el objetivo de ser fabricada fácilmente con el uso de recursos y materiales disponibles localmente en el departamento.

Figura 12. Plano de ejes y soporte



Fuente: Autores.

Discusión

El presente proyecto permitió mostrar las capacidades del SENA y de sus aprendices para generar tecnologías adaptadas al sector agropecuario del departamento, teniendo en cuenta los recursos disponibles y utilizándolos de la mejor manera para lograr un producto de muy buena calidad. La solución se diseñó considerando los materiales y las máquinas y herramientas disponibles en Nariño, lo que permite garantizar su viabilidad y accesibilidad para los productores locales, por sus bajos costos de fabricación y mantenimiento, al igual que reducir la huella ambiental de su ciclo de vida.

Como resultado adicional, se destaca que el desarrollo de este proyecto de investigación reviste un efecto positivo significativo en los procesos de formación por proyectos empleados con los aprendices SENA del Centro Internacional de Producción Limpia Lope, de los programas de Diseño de Sistemas Mecánicos, Diseño de Productos Industriales, Diseño e Integración de Automatismos Mecatrónicos, Automatización Industrial, Diseño de Elementos Mecánicos, para su fabricación con máquinas herramientas CNC.

La metodología utilizada para la formulación y ejecución quedó plasmada en la documentación final del proyecto y podrá ser utilizada como insumo para la creación de guías de aprendizaje, dado que en el SENA se imparte una formación profesional integral por proyectos, en el marco de la cual se enseña a los aprendices la formulación y gestión de proyectos de investigación aplicada e innovación, en función de que puedan aplicar sus competencias en las empresas de Colombia y así aportar a su desarrollo tecnológico y económico.

Adicionalmente, la ejecución de proyectos financiados por el programa SENNOVA permite la adquisición de materiales de formación y equipos que contribuyen a la dotación de los ambientes del SENA, modernizando así las herramientas disponibles para la formación de los aprendices y familiarizándolos con el uso de tecnologías actualizadas. Igualmente, con la divulgación de los proyectos realizados con la participación de los aprendices, se les aporta reconocimiento y, por lo tanto, una mayor empleabilidad; así, se invita a más aspirantes a aprovechar la oportunidad de formarse con el SENA y se les inspira a participar en los programas de semilleros con sus propias propuestas de proyectos.

Conclusiones

La divulgación del diseño de la presente máquina representa una oportunidad para impulsar otras investigaciones en el tema, brindar pistas de reflexión para otras posibles soluciones para esta problemática o relacionadas, y así contribuir a la mejora de las condiciones de vida y de trabajo de los productores de papa de Nariño, que tienen la particularidad de tener que laborar en condiciones topográficas particularmente difíciles en las zonas andinas de nuestra región; por ello, se buscó una solución liviana y fácilmente manejable, que se puede usar en pequeños cultivos con pendientes importantes.

A partir de la experiencia adquirida y el trabajo realizado, se recomienda proyectar las tecnologías diseñadas para su uso en diferentes fases del proceso de producción y transformación de la papa, y también para otros tipos de cultivos de la región. En esta dirección, se formuló un proyecto de diseño de una sembrado-

ra de papa utilizando el mismo tren motor que la presente, con el objetivo de rentabilizar el diseño y la compra de la máquina para los agricultores.

La tecnificación de las actividades agrícolas son claves para el desarrollo del país, de una manera respetuosa del medio ambiente y sostenible; por lo tanto, se recomienda seguir desarrollando proyectos en esta dirección, no limitándose a maquinaria agrícola, sino también con el uso de las TIC para el control de condiciones y optimizaciones, el uso de fertilizantes naturales, el aprovechamiento de los desperdicios para la generación de energía, entre otros.

Por último, en lo que al SENA concierne como entidad de formación profesional para el trabajo, se recomienda aprovechar estos proyectos como oportunidades para que los aprendices puedan aplicar los conocimientos teórico-prácticos que adquieren en el SENA, enfrentarse a problemáticas concretas y contribuir a tener un impacto real sobre la sociedad. Este tipo de proyectos también pueden evolucionar en ideas de negocios para impulsar a los aprendices a crear sus propias empresas, gracias al programa de emprendimiento del SENA, contribuyendo así al crecimiento económico del departamento.

Referencias

Comisión Regional de Competitividad de Nariño. (2009). *Plan Regional de Competitividad de Nariño*. Pasto: Autor.

Consejo Nacional de la Papa en Colombia. (2015). *Papa – Informe diciembre 2015*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2015-12-30>

Corpoica. (2014). *En Nariño, Corpoica impulsa el mejoramiento tecnológico y productivo del sistema papa*. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36692>.

Corpoica. (2016). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (2017-2027)*. Bogotá: Corpoica.

Corpoica. (2017). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano, Departamento de Nariño*. Bogotá: Corpoica.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2017). *Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. <http://www.dane.gov.co/index.php/comunicados-y-boletines/agropecuario/insumos>.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2020). *Perspectivas territoriales de desarrollo socioeconómico*. Pasto: DANE. <http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-desarrollo-territorial/280120-Info-Regional-Pasto.pdf>.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2014). *Documento Conpes 3811*. Bogotá: DNP.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2008). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma: FAO.

Duquesne Malsergent, C. J., Ramos Ordóñez, O. G. y Vallejo Benítez, P. C. (2022). <https://doi.org/10.21789/22561498.1779>

FAO. (2017). *FAOSTAT - Crops statistics*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa). (2015). *Informe de gestión anual 2015*.

Gobernación de Nariño. (2012). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación de Nariño*. Pasto: Autor.

Gobernación de Nariño. (2019). *Plan Departamental de Extensión Agropecuaria del Departamento de Nariño PDEA*. Pasto: Autor.

Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCYT). (2019). *Indicadores de ciencia y tecnología Colombia 2018*. Bogotá: Autor.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2016). *Cultivo comercial de papa: identificación de zonas aptas en Colombia, a escala 1:100 000*. Bogotá: UPRA. https://upra.gov.co/documents/10184/13821/Zonificaci%C3%B3n_papa.

Minagricultura. (2018). *La producción de papa en 2018 podría llegar 2 millones 690 mil toneladas*. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/>