



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

“Estandarización emergente de un prototipo de arado para incrementar la efectividad de la cosecha de tubérculos desde un impacto social y económico”

“Emerging standardization of a plow prototype to increase the effectiveness of the tuber harvest from a social and economic impact”

Ángel-López, H.Z., Oros-Méndez, L.A., Flores-Cedillo, M.L., Sierra-Guerrero, A.M.

División de Ing. Industrial; Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital; CP 78421, San Luis Potosí, México.

hulda.delangel@tecsuperiorslp.edu.mx; lya.oros@tecsuperiorslp.edu.mx; maria.flores@tecsuperiorslp.edu.mx; adela.sierra@tecsuperiorslp.edu.mx

Innovación tecnológica: Validación de prueba de diseño del prototipo estandarizado de un accesorio extractor de tubérculos para incrementar la recolección.

Área de aplicación industrial: Ingeniería en Administración; Ingeniería Industrial.

Recibido: 14 sept. 2020

Aceptado: 20 marzo 2021

Abstract

Introduction

Today, in the face of a global and competitive economic system in which Industry 4.0 prevails as an optimizing engine in their processes, the need arises to support small farmers who in their work tools allow them with less effort in their physical activity, be more effective and productive, which will be reflected in a positive economic impact for the families involved in the process, as well as promoting farmer and customer satisfaction by marketing a tuber with the required quality.

Objective

Validate the design of a tuber extractor prototype that increases the effectiveness of the harvest, in relation to the optimization of the time invested in this activity, in Santa María del Río Municipality, San Luis Potosí State.

Materials and methods

The research was developed with a descriptive study and a deductive methodology, in combination with a product development methodology through rapid prototyping (MPR), with a mixed

approach in which data collection and analysis is used in the municipality of Santa María del Río, SLP, to build the prototype and implement the system applying the use of statistical tools.

Results

The effectiveness of the device could be verified by reducing the tuber harvesting time by 50 %, optimizing the process and preventing workers from doing this activity by applying physical effort during strenuous days.

Conclusions

The tuber extractor prototype is validated and its relevance is verified, achieving compliance with the requirements of the end customers regarding the collection and separation of the tuber.

Keywords: Comprehensive Administration, Plows, Rapid Prototyping, Tuber Extractor.

Resumen

Introducción

Hoy en día, ante un sistema económico global y competitivo en el que impera la Industria 4.0 como motor optimizador en sus procesos, surge la necesidad de apoyar a pequeños agricultores que en sus herramientas de trabajo les permitan con un menor esfuerzo en su actividad física, ser más efectivos y productivos, lo que se verá reflejado en un impacto económico positivo para las familias involucradas en el proceso, así como propiciar la satisfacción del agricultor y del cliente al comercializar un tubérculo con la calidad requerida.

Objetivo

Validar el diseño de un prototipo extractor de tubérculos que incremente la efectividad de la cosecha, en relación con la optimización del tiempo invertido en esa actividad, en el Municipio de Santa María del Río en el Estado de San Luis Potosí, México.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló con estudio de tipo descriptivo y una metodología deductiva, en combinación con una metodología de desarrollo del producto a través del prototipado rápido (MPR), con un enfoque mixto en el cual se utiliza la recolección y análisis de datos en el municipio de Santa María del Río, S.L.P, para construir el prototipo e implementar el sistema aplicando el uso de herramientas estadísticas.

Resultados

Se pudo constatar la efectividad del dispositivo mediante la reducción de un 50% del tiempo de recolección de los tubérculos, optimizando el proceso y evitando que los trabajadores realicen esta actividad aplicando esfuerzo físico durante jornadas extenuantes.

Conclusiones

Se valida el prototipo extractor de tubérculos y se constata su pertinencia logrando cumplir con los requerimientos de los clientes finales con respecto a la recolección y separación del tubérculo.

Palabras clave: Administración Integral, Arados, Prototipado rápido, Extractor de Tubérculos.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las compañías buscan adoptar una propuesta global para desarrollar en sus productos y servicios características altamente competitivas, a través de sus procesos internos de fabricación, y en diversas formas de comercialización. Una de las dificultades a las que las empresas se encuentran hoy en día es la transferencia de su desarrollo tecnológico por los altos costos en lo que incurre; por lo que la industria, requiere adaptar la forma en la que administra sus modelos de operación y comercialización en función a las necesidades del mercado contemplando un balance entre la autonomía de sus procesos, la integración y adecuación a lo que el entorno requiere hablando de una estrategia productiva y comercial como lo es la estandarización de procesos.

Las empresas industriales actualmente enfrentan desafíos sustanciales con respecto a conceptos disruptivos de la Industria 4.0 focalizado a los sistemas ciber físicos o manufactura basada en la optimización de procesos y satisfacción del cliente, lo que propicia la inquietud de anticiparse mediante la gestión integral que abarque capacidades organizativas, productivas, tecnológicas y clientelares (Becker et al., 2009). Por lo que la presente investigación se enfocará a la capacidad productiva a través de la estandarización; donde se abarcarán la primera y segunda fase del proceso de la planeación avanzada de la calidad de un producto (APQP) generando una propuesta de afectividad a través del diseño de una máquina extractora de tubérculos, desde un enfoque social y económico que coadyuve el municipio de Santa María en el Estado de San Luis Potosí.

En esta investigación se emplearon herramientas de ingeniería para conocer las necesidades de los agricultores de tubérculos y establecer los requerimientos técnicos para

diseñar y validar un prototipo extractor de tubérculos.

ANTECEDENTES

Importancia de los Tubérculos

Se entiende a los tubérculos como tallos subterráneos modificados y engrosados, en los que se tienden a acumular los nutrientes, los cuales son utilizados como reserva para la planta. Su recolección se realiza en diferentes momentos del año, y entre los principales tubérculos comestibles que se recolectan cada cierto tiempo y que hoy son sumamente consumidos en todo el mundo, destacan: las papas, los boniatos, el camote, la yuca, o la remolacha, entre otros (Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera, 2019).

La papa (*Solanum tuberosum* L.), pertenece a la familia de Solanaceae, y es uno de los cultivos alimenticios más importantes en el mundo, es un alimento de alto valor nutricional, con poca grasa y un alto porcentaje de materia seca. Es rico en micronutrientes como vitaminas B1, B3 y B6, pero sobre todo vitamina C; aporta una cantidad moderada de hierro, el cual es absorbido con mayor facilidad gracias a su alto contenido de vitamina C (Porrás Martínez & Brenes Angulo, 2015). El cultivo de la papa se ha desarrollado y es ampliamente estudiado en todo el mundo, siendo considerado uno de los principales alimentos para el ser humano a nivel mundial, superado solamente por el arroz, el trigo y el maíz (Jerez-Mompíe et al., 2017).

El camote (*Ipomoea batatas* L.) es un tubérculo que se cultiva alrededor del mundo con una producción mundial de 150 millones de toneladas. Es un cultivo de fácil propagación y con pocos requerimientos nutricionales, por lo tanto, sus costos de producción son bajos. El camote contiene

características nutricionales importantes que lo convierten en un alimento de alto valor nutritivo y puede ser una alternativa en países en vías de desarrollo que presentan escasez alimentaria (Basurto, 2015). En México se cultiva desde tiempos ancestrales y en la actualidad se producen variedades de pulpa blanca, amarilla, naranja, rosada o morada en 26 estados de la república, con dos ciclos anuales de producción: primavera-verano (de riego) y otoño-invierno (temporal) (Martínez-Moreno et al., 2018).

México reporta una producción aproximada de 61,098 toneladas en 2,908 hectáreas. Los estados con mayor superficie cultivada son Guanajuato (27,328 ton) y Michoacán (10,756 ton). Sin embargo, en términos de rendimiento los estados más productivos son Chihuahua, Yucatán, Guanajuato, Michoacán y Jalisco (30.8, 30, 25.5, 24.2, 23.8 T/Ha). En el año 2005, la producción de camote en México alcanzó los valores de producción más altos reportados en los últimos 15 años (68,000 ton), lamentablemente a la fecha la producción ha caído en declive. La disminución en su producción a lo largo de 10 años puede estar relacionado a que su consumo es escaso y que es utilizado o considerado como alimento complementario o postre ((Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015).

El camote es un tubérculo con alto valor nutricional rico en vitaminas y minerales; es importante mencionar que los valores nutricionales pueden variar dependiendo del cultivar que se analice y el tipo de cocción utilizado. Su composición otorga varios beneficios a la salud, tales como, aportes nutricionales, propiedades cardioprotectoras, hepatoprotectoras, anticancerígenas, antiobesogénicas, anti envejecimiento, antidiabético, antiulcerogénico, entre otros. Es por ello por lo que se promueve como un alimento funcional en enfermedades crónico-

degenerativas, para disminuir su incidencia y prevalencia (Rojas & Adela, 2018).

En México, específicamente en el municipio de Santa María del Rio, S.L.P. se cuenta con agricultores que se dedican a la siembra y cosecha del camote tanto como para consumo interno, así como para exportación debido a las características que se adecúan a los estándares internacionales para venta; por lo que las familias de ese municipio se dedican a la siembra de camote, que son alrededor de 20 familias y cada una llega a sembrar hasta una hectárea, dadas las condiciones de cuidado del camote que son muy apropiados para el clima en S. L. P. La recolección de camote contempla aproximadamente 500 Kg por un día de trabajo de 10 horas, que se pueden repartir en uno o dos días; esta actividad de recolección se realiza en el mes de octubre donde el clima es pertinente para recoger el tubérculo de la tierra, siendo la siembra en los meses de marzo, abril y mayo (Cobeña Ruiz et al., 2017).

De igual manera, el camote puede cultivarse en todo tipo de suelos, especialmente en los franco-arenosos con buena profundidad y materia orgánica, por lo que una vez que la planta está arraigada, firme y bien establecida en la tierra, puede sobrevivir temporadas de sequía. Mientras otros cultivos se marchitan con el calor, el camote está en la mejor de las condiciones para desarrollarse, ya que se siembra manualmente con esquejes a una profundidad de 20 a 30 cm. Los esquejes son las semillas vegetativas o injertos, con un tamaño de veinte a cuarenta centímetros provenientes de plantas maduras con o sin hojas, por lo que lo más conveniente es sembrarlos separados de 20 a 25 cm entre sí, y con una separación de 60 cm a 1 m entre surcos.

El camote por lo tanto es una especie de importancia alimentaria y cultural que se encuentra pobremente representada tanto en

los herbarios como en los bancos de germoplasma nacionales, tomando en cuenta que en México se cultiva en más de 100 municipios de 26 estados, por lo que existe una gran diversidad de ellos con numerosas variantes criollas. La diversidad de camote se identifica principalmente por el color de la epidermis y parte interna de la raíz que puede ser: roja, púrpura, rosada, anaranjada, amarilla, pajiza o blanca, así como de la forma de la hoja, la cual puede ser: hastada, acorazonada, dentada o trilobulada. Cabe destacar que el presente tubérculo presenta altas propiedades nutritivas, lo que posibilita la elaboración de jugos o suplementos alimenticios, aunque este uso es menos común en nuestro país (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017).

Cosecha

Cuando las plantas comienzan su madurez es el momento de iniciar la cosecha, haciéndose de forma manual o con máquinas que van sacando los camotes de la tierra; aproximadamente el noventa por ciento de las raíces tendrán el tamaño y calidad suficiente para ponerse a la venta. De acuerdo con los datos del SIAP, 2015, en las últimas tres décadas la producción de camote en México ha variado entre 30,000 y 70,000 ton/año, con tendencia positiva, misma que se debe a mayores rendimientos por unidad de superficie, manteniendo una superficie cultivada de 2,500 ha/año en el mismo periodo (*El cultivo del camote en México / Gimtrac*, 2016).

El Estado de San Luis Potosí lo conforman 58 municipios con una población total de 2,723,772 habitantes con un total de 710,233 viviendas, (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2015). Entre los municipios de San Luis Potosí encontramos Santa María del Río, conformado una población de 40,326 personas contando con

un total de viviendas de 9,509, con un grado promedio de escolaridad de 7.1 años (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2015).

La principal actividad económica del municipio de Santa María del Río, S.L.P. está ubicada en las empresas manufactureras automotrices transnacionales que se encuentran cerca del municipio, lo que hace que la parte de la agricultura se encuentre desatendida, debido a que la población en posibilidad de trabajar prefiere insertarse en una empresa transnacional que hoy en día presentan una sobre oferta laboral.

Por lo que resulta de suma importancia considerar que los agricultores que laboran en esta zona de Santa María del Río, son adultos mayores que requieren de gran apoyo para realizar la recolección de los tubérculos en la temporada de la cosecha, ya que la remuneración es a destajo y el proceso de recolección se torna manual y requiere de gran esfuerzo físico, lo que hace que un dispositivo adicional en el proceso de recolección del tubérculo, pueda incrementar el proceso a través de mayores cantidades de recolección a un menor esfuerzo por parte del operador recolector.

Es de vital importancia resaltar que el agricultor dueño de la parcela contrata en promedio 10 personas para realizar la totalidad de la recolección de camote en la cosecha por parcela, la cual tiene una duración aproximada de 20 a 30 días (depende de las horas invertidas de jornada laboral), donde las parcelas cuentan con una cantidad de 80 surcos de 40 metros de largo. En cada surco se puede obtener una cantidad de 100 Kg de camote lo que conlleva que diariamente el equipo recolector llegue a obtener 800 Kg de camote. Cabe mencionar que el pago se realiza a destajo, es decir, cuando haya terminado la cosecha se les paga a los recolectores de acuerdo con los

kilogramos obtenidos de camote y dependiendo de las características físicas en las que se encontró el tubérculo. Dicho surco se encuentra aproximadamente a 10 cm de profundidad a ras del suelo, lo que ocasiona que el operador debe inclinarse e introducir su mano dentro de la tierra, siendo inadecuado y poco ergonómico, a lo que la propuesta del dispositivo utiliza unas cuchillas que van abriendo la tierra y se van introduciendo más profundamente para sacar todo el tubérculo posible.

Al utilizar este dispositivo el operador podrá reducir en un 50% el tiempo de recolección, por lo que, si en la actualidad invierte ocho días hábiles para su trabajo podrá hacerlo en cuatro días y recibir su remuneración económica en menor tiempo, permitiéndole ser contratado en otra parcela para mejorar sus ingresos. Por lo que el presente dispositivo resulta pertinente, al posibilitar que tanto al recolector como al agricultor puedan realizar una recolección en menor tiempo, considerando las condiciones climáticas en los meses de recolección (octubre y noviembre) que son temporadas frías y con aire, lo que ayudaría a reducir el tiempo de recolección. Es importante resaltar que al utilizar el dispositivo no se pretende eliminar cantidad de recolectores, sino apoyarles a concluir en menor tiempo la recolección completa y por ende su jornada laboral.

Debido a las características de este tubérculo, ha resultado sencillo para la población femenina y masculina en edad productiva, el dedicarse a la siembra y cosecha de este, y por consecuencia algunos de ellos se han visto en la necesidad de abandonar sus estudios de educación superior para ayudar al sostenimiento económico de sus familias, que tienden a ser por lo general numerosas. A la fecha, para la recolección del camote, se utilizan en la actualidad máquinas muy grandes y pesadas que requieren de una alta

inversión por parte de los agricultores, ya que son muy costosas y son utilizadas en espacios grandes, debido a la gran capacidad que manejan al cosechar los tubérculos.

Para los pequeños agricultores, estas grandes máquinas, quedan fuera del alcance de muchos de ellos, ya que las áreas de cosechas son pequeñas (1 ha) y la capacidad que manejan las máquinas son de alrededor de las 10 has. La pertinencia de encontrar algún dispositivo que se pueda adaptar a los tipos de vehículos que utilizan los pequeños agricultores es clave en este rubro ya que en la actualidad no existe alguno estandarizado y desmontable que se pueda adaptar a cualquier vehículo, de manera flexible y sin utilizar más equipo periférico en el montaje, que no requiera de quema de combustibles fósiles que afectan al medio ambiente. Es importante señalar que un problema latente en la cosecha del tubérculo es que al momento de la recolección manual se genera merma en la misma, debido a que, al encontrarse los tubérculos por debajo de la tierra muchas veces no son visibles y no se recolectan.

Por lo que surge la necesidad de identificar los requerimientos de los agricultores y del entorno, así como de investigar las especificaciones técnicas idóneas para diseñar el prototipo de un dispositivo que ayude a la recolección del tubérculo de manera óptima, contemplando el cuidado del tubérculo durante la recolección de este y buscando incrementar los procesos de recolección a través de la investigación aplicada. Por lo que el presente artículo tiene como objetivo validar la prueba de diseño y prototipado estandarizado a través de un accesorio extractor de tubérculos que incremente la efectividad de la cosecha.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Estandarización Emergente

Los orígenes de la estandarización se centran en la estandarización masiva, en función a entender el comportamiento del consumidor orientado en un sistema económico que apuntala al materialismo e individualismo, en el que se busca la diferenciación de la marca a través de los productos y servicios que se adquieren, es decir una “estandarización orientada hacia el individualismo” (Islas, 2008) por lo que la estandarización masiva apoya esa estrategia de diferenciación del producto o servicio a través de personalización en los procesos de fabricación en función al gusto o necesidad del cliente, permitiendo así la generación de la ventaja competitiva buscando la supremacía de la marca. Como resultado, la fabricación aditiva toma un papel importante como un proceso alternativo a través del cual los microfluidos y los dispositivos pueden ser rápidamente prototipados (Bhattacharjee et al., 2016).

En muchos de estos casos ha sido necesario adoptar una organización con procesos de producción perfectamente integrados, teniéndose como resultado el bajo costo, alta calidad, altos volúmenes de producción, productos y servicios personalizados a las necesidades del cliente, claro ejemplo de dicha fórmula se gestó en la década de los noventa en empresas pioneras de la estandarización masiva como lo fueron Dell, HP, Ford, General Motors o Toyota, quienes intentaron implementar eficientemente sistemas de estandarización en masa en los procesos de producción de sus instalaciones, tendencia que hoy en día se ha generalizado entre otras industrias y giros comerciales (Rodríguez, 2013).

La estandarización masiva es definida como una combinación de la producción en masa

altamente industrializada y producción artesanal personalizada como respuesta a la industria manufacturera en función a los requisitos de un mundo cada vez más moderno y dinámico, bajo un esquema productivo que posibilita manufacturar un producto a un precio más bajo pero sobre todo con características específicas solicitadas por el cliente a un tiempo de respuesta casi inmediato, posibilitando generar una ventaja competitiva al resto de los productos que ofrece el mercado (Rauch, 2017). Por lo que, las nuevas tecnologías como la tecnología web avanzada, la digitalización o las tecnologías de fabricación aditiva como tendencias de la Industria 4.0 han abierto nuevas posibilidades para capturar los requisitos del cliente a su total gusto y preferencia, así como para producir productos específicos y especializados.

La personalización masiva combina los objetivos altamente controvertidos de la individualización y la producción rentable y permite la máxima flexibilidad en la producción de productos con una estructura de costos razonable. La Industria 4.0 contempla en sus últimas tendencias a la estandarización como un facilitador clave para futuros desarrollos en la fabricación de personalización en masa buscando alcanzar el nivel de estandarización es necesario equipar los sistemas de fabricación con capacidades cognitivas para tomar decisiones autónomas en procesos de producción aún más complejos con una gran variedad de productos, apoyándose de la manufactura aditiva (*Standardization: Fundamentals, Impact, and Business Strategy*, 2009).

Por su parte El Maraghy *et. al* visualizan a los sistemas de fabricación en un entorno de personalización masiva que deberían poder producir pequeñas cantidades de una manera altamente flexible y ser rápidamente reconfigurables y ajustables a los requisitos necesarios para la fabricación de

personalización en masa mejor que uno tradicional. La última tendencia en la personalización masiva es la digitalización en la fabricación, también conocida bajo el término “Industria 4.0” o “Sistemas ciber físicos” (CPS). Por lo que el gran potencial de la Industria 4.0 será un facilitador clave para futuros desarrollos en la fabricación de personalización en masa. Para alcanzar el siguiente nivel de adecuación es necesario equipar los sistemas de fabricación con capacidades cognitivas para tomar decisiones autónomas en procesos de producción aún más complejos con una gran variedad de productos (El Maraghy et. al, 2009).

Prototipado rápido

El Prototipado Rápido se puede definir como la manera más rápida de obtener una réplica exacta tridimensional de un diseño mediante la introducción de coordenadas matemáticas creadas mediante técnicas CAD/CAM en tres dimensiones (3D) que son procesadas para realizar modelos a escala de forma rápida. Los Sistemas de Prototipado Rápido surgen inicialmente en 1987 con el proceso de estereolitografía (*Stereo Lithography*, SL) de la empresa norteamericana 3D Systems, proceso que solidifica capas (*layers*) de resina fotosensible por medio de láser (Sánchez et al., 2004).

De igual manera el prototipado rápido, es una técnica conocida como técnica generativa en la cual sufre una evolución una idea con el fin de poder concretar el concepto final de un modelo. Durante dicho proceso, los objetos pueden ser producidos con diferentes complejidades geométricas sin involucrar la configuración de la máquina o el ensamblaje final. Los objetos se pueden producir empleando diferentes tipos de materiales como compuestos, además con una conducción controlada, se pueden usar diferentes materiales en diferentes lugares de

un objeto. La construcción de objetos complejos puede ser rápida, conveniente y sin complicaciones mediante sistemas de fabricación aditiva (Vladan & Gligorče, 2010).

Actualmente, la metodología es utilizada para el desarrollo de prototipos en diversos campos de la ciencia, con el objetivo de reproducir objetos reales o bien desarrollar dispositivos inexistentes o innovadores. La técnica rápida de prototipos (RP por sus siglas en inglés) ha incrementado su desarrollo y uso dentro de los distintos campos de la ciencia debido a los avances dentro de los procesos de manufactura, ya que a menudo se utiliza los procesos de manufactura aditiva, simulación por medio de modelos 3D, realidad aumentada o manufactura avanzada (Torabi et al., 2015). Otro beneficio destacable de la metodología es que permite planificar, producir y desarrollar modelos de una forma acelerada, por lo que ayuda a reducir el índice de fallas al permitir una pronta evaluación y validación de estos (Hardee et al., 1999).

El Prototipado Rápido de Control (RCP, *Rapid Control Prototyping*, por sus siglas en inglés), surgió en la industria automotriz a mediados de 1990, como una solución para el manejo de las complejas tareas del ingeniero de control automotriz, La idea básica es desarrollar y validar nuevos algoritmos de control, con modelos en ambientes simulados, usando software de modelamiento matemático (Uhl et al., 2000). El principio central de la teoría de los prototipos es que los conceptos, en lugar de estar definidos por reglas formales o asignaciones, están representados por prototipos en el que la categorización se basa en la similitud con estos prototipos para una descripción general, por lo que la similitud con los prototipos se ha sugerido ampliamente como una posible base para las funciones de pertenencia en lógica difusa (Dubois et al., 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló con estudio de tipo descriptivo y una metodología deductiva, en combinación con una metodología de desarrollo del producto (MPR) a través del prototipado rápido (PRC), con un enfoque mixto en el cual se utiliza la recolección y análisis de datos para construir el prototipo e implementar el sistema aplicando el uso de herramientas estadísticas, para validar la viabilidad del sistema.

La metodología de prototipado rápido permitió definir objetivos e identificar los requerimientos detallados para las funciones y características para adaptar la interacción que existe entre el usuario y la máquina. Las razones por las cuales se consideró factible el uso de la metodología fueron la adaptabilidad de la metodología al contexto de trabajo, en el que los requisitos no están perfectamente claros al principio y, la evolución cíclica del prototipo en la que se involucra al usuario final en la mejora de la captura de requerimientos, permitiendo obtener mejores versiones del prototipo del extractor de tubérculos que finalmente desembocarán en la aplicación final.

Las etapas metodológicas al implementar dicha metodología en esta investigación consistieron en cuatro etapas: Estudio preliminar, diseño conceptual, desarrollo del prototipo y pruebas del usuario.

ETAPA 1: Estudio Preliminar

En esta etapa, se realizó una visita a los agricultores del Rancho “La Purísima” perteneciente al municipio de Santa María del Río en el estado de San Luis Potosí, México; para conocer sus necesidades principales en la recolección de tubérculos, principalmente camotes, y así determinar las especificaciones que tendrá la máquina considerando los siguientes aspectos:

- Principales modos de operación y accidentales del producto (funcionamiento habitual, transporte, reparación, incidencias y accidentes).
- Entorno donde operará (atmósfera húmeda, seca, corrosiva, lugar de resguardo).
- Servicios de entorno (dónde y cómo va a alimentarse, infraestructura requerida, mantenimiento y reparación).

Existen diferentes metodologías para desarrollar diseños mecánicos, por lo que para este dispositivo se considera el proceso de despliegue de la función de calidad QFD (*Quality Function Deployment*, por sus siglas en inglés), de cuyo proceso inicial, se recopiló la información mostrada en la Tabla 1, en la que se mencionan las necesidades del cliente y las especificaciones técnicas de los especialistas del área de ingeniería (Sivaloganathan & Evbuomwan, 1997), empleando la siguiente nomenclatura:

I: Ingeniería, C: Cliente, R: Requerido, D: Deseable.

Tabla 1. Especificaciones para el Diseño.

Producto: dispositivo para la recolección de tubérculos			
ESPECIFICACIONES INICIALES			
Concepto	C/I	R/D	DESCRIPCIÓN
Función	C/I	R	Realizar la recolección de tubérculos por surco.
	I	R	Realizar la operación en forma segura y ergonómica.
	C	R	Separar los tubérculos entre sí.
Operaciones necesarias	I	R	Recolectar todos los tubérculos que se encuentran en el surco.
	I	D	Eliminar piedras y ramas sueltas.
Calidad final	C	R	Verificación de la condición de la piel del tubérculo.

Fuente: Elaboración Propia.

Estas características se plasmaron en el QFD para mostrar la relación entre las necesidades del cliente (estandarización) y los requerimientos técnicos del dispositivo. Para realizar el QFD se consideraron las 10 necesidades principales que el cliente visualizó para este dispositivo, y con base en

ellas se identificaron 10 características técnicas para establecer los parámetros de diseño para poder establecer los comparativos y saber cuáles de esas características impactaban mayormente en el diseño y resolvían las necesidades del cliente (ver Tabla 2).

Tabla 2. Características para considerarse en el QFD.

N°	Necesidades de cliente	Parámetros técnicos de diseño
1	Altura adecuada	Recolector de tubérculo
2	Sencillo de operar	Cortadores/Cuchillas
3	No esfuerzo físico	Contenedor de tubérculo
4	No electricidad	Contenedor de residuos
5	Cualquier vehículo	Sujetador de tubérculo
6	Cualquier tamaño de tubérculo	Mantenimiento
7	Compacto	Seguridad
8	No herramientas adicionales	Desmontable
9	Poco peso	Portátil
10	Económico	Escalable

Fuete: Elaboración Propia.

Una vez que se documentaron las necesidades y se identificaron los parámetros, con estos últimos se realizó un comparativo para conocer las características que permitirían cumplir con los requerimientos del cliente para el diseño del dispositivo.

Los valores plasmados en el formato de QFD mostrado en la Figura 1, mencionan los números: 0, 1, 3 y 9. Donde: 0, significa que

no hay relación entre las variables, el 1 indica que existe una pobre relación, el 3 significa una mediana relación y, el 9 indica que se tiene una fuerte relación entre las variables. Asimismo, para destacarlas de manera más visual, las ponderaciones se resaltaron empleando colores, el color verde oscuro indica una relación más fuerte entre variables, mientras el color verde claro india que la relación entre variables es baja.

Matriz de relaciones		Calificación ponderada actual	Parámetros de Diseño									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		77.0%	13.6%	13.6%	13.6%	6.8%	7.4%	10.4%	9.0%	10.3%	8.9%	6.2%
No	Necesidad del Cliente	Peso Ponderado	Recolector de tubérculo	Cortadores	Contenedor de fruto	Contenedor de residuos	Mantenimiento	Seguridad	Desmontable	Portatil	Escalable	Sujetadores de fruto
1	Altura adecuada	6.0%	3	3	3	3	0	3	0	3	9	0
2	Sencillo de operar	8.0%	9	9	9	3	1	9	9	9	9	1
3	No esfuerzo físico	10.0%	9	9	9	3	3	9	9	9	9	1
4	No electricidad	15.0%	9	9	9	3	3	3	1	1	1	9
5	Cualquier vehículo	15.0%	9	9	9	3	1	9	9	9	1	1
6	Cualquier tamaño de fruto	15.0%	9	9	9	3	9	9	9	9	9	3
7	Compacto	8.0%	9	9	9	9	9	9	1	9	3	3
8	No herramientas adicionales	7.0%	9	9	9	1	3	3	3	3	9	9
9	Poco peso	8.0%	9	9	9	9	9	0	9	9	9	9
10	Económica	8.0%	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3
		100.0%										
		Peso ponderado OK	8.6	8.6	8.6	4.3	4.7	6.6	5.7	6.5	5.6	4.0
			Recolector de tubérculo	Cortadores	Contenedor de fruto	Contenedor de residuos	Mantenimiento	Seguridad	Desmontable	Portatil	Escalable	Sujetadores de fruto

Figura 1. QFD del diseño de la máquina recolectora de camote. Fuente: Elaboración Propia.

Tomando como base la información de la Figura 1, se generó una gráfica de barras que muestra las ponderaciones de acuerdo con el valor asignado según las necesidades del cliente. Se puede observar que los parámetros de no electricidad, cualquier vehículo y cualquier tamaño de tubérculo son los más importantes para que se consideren en el diseño, es decir no pueden faltar en el dispositivo propuesto.

- *No electricidad*: se refiere a que el dispositivo no utilice energía eléctrica para su funcionamiento, ya que en el campo no se cuenta siempre con alguna fuente de alimentación de energía para utilizarlo; lo que haría complicado el uso de del dispositivo.

- *Cualquier vehículo*: se refiere a que el dispositivo tenga la versatilidad de poder ser utilizado tanto en un tractor como en cualquier camioneta para ser jalado y pueda ser usado.
- *Cualquier tamaño de tubérculo*: se entiende que se debe considerar un dispositivo que puede ser útil para cualquier tamaño de tubérculo, ya que generalmente el tamaño de camote no es uniforme en toda la cosecha, por lo que se debe poder recolectar un tubérculo grande, así como uno más pequeño.

El resto de los parámetros, también se debieron considerar en el diseño, aunque tuvieron una menor ponderación.

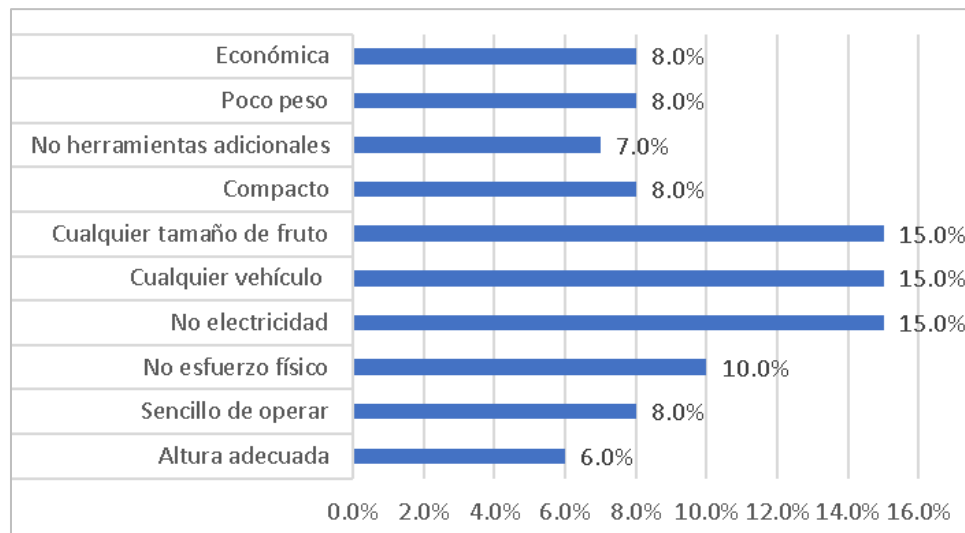


Figura 2. Gráfica de necesidades del cliente. Fuente: Elaboración propia.

La Gráfica de barras de la Figura 2 permitió conocer que el enfoque principal es la estandarización del dispositivo, por lo cual, al evaluar los parámetros de diseño, se pudo observar que los puntos más importantes a considerar son: a) el recolector de tubérculo: es el mecanismo que va a realizar la operación de recolección, ya que realizará la función principal; b) cortadores: son una parte importante en el mecanismo dado que

realizarán el corte de guía del tubérculo, para posteriormente colocarlo en el contenedor correspondiente; y c) contenedor de tubérculo: debe haber un contenedor para colocar el tubérculo una vez que ha sido extraído del suelo y separado de la guía.

Estos 3 componentes o mecanismos fueron indispensables para la fabricación del dispositivo recolector de tubérculos, para el

resto de los componentes que cuentan con ponderación más bajas, serán incluidos de igual manera en el dispositivo, aunque cabe

resaltar que no son tan relevantes, como se puede visualizar en la Gráfica de la Figura 3.

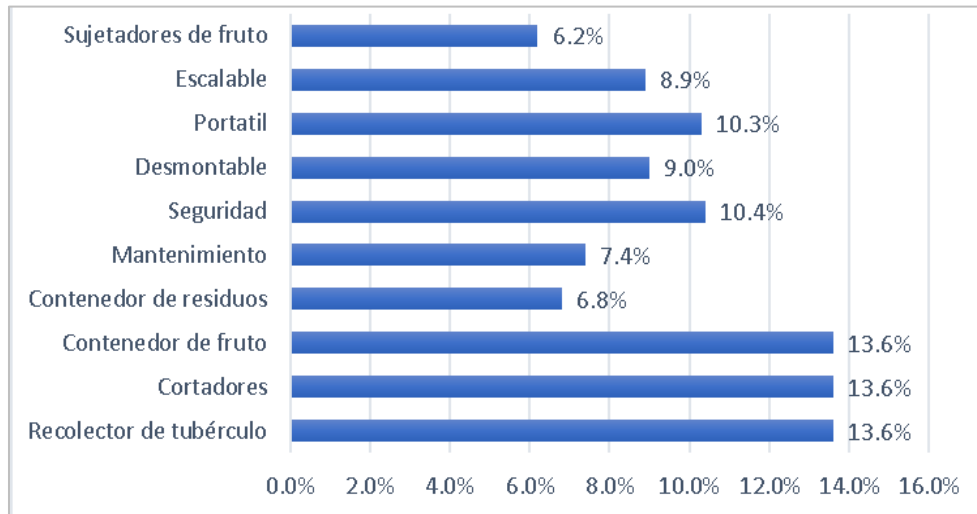


Figura 3. Gráfica de diseño de la máquina recolectora de tubérculos. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA 2: Diseño Conceptual. Dibujos y especificaciones del dispositivo, detallados, como resultaron, el software que se utilizó

En la segunda etapa se revisaron las especificaciones preliminares que permitieron derivar alternativas de diseño, eligiendo la más viable técnicamente y cumpliera con los requerimientos más importantes del cliente. Como punto de partida, se consideraron los herramientas existentes actualmente y empleados por los agricultores para cosechar diferentes tipos de tubérculos, la cual era maquinaria robusta que removía y separaba el producto de la guía de raíces, posteriormente, el recolector coseche el tubérculo agachándose hasta el piso para levantarlo y colocarlo dentro de un costal, el cual carga sobre su espalda, alcanzando cantidades pesadas de producto recolectado para poder recibir la remuneración económica correspondiente.

Otro aspecto para resaltar de las máquinas existentes en el mercado es que, por sus dimensiones se requiere de grandes hectáreas

de terreno para que resulte viable su uso, ya que sus costos elevados no permiten que puedan ser adquiridos por pequeños productores. Destacando que, en esta investigación, uno de los requerimientos del cliente es el bajo costo y el evitar la fatiga excesiva del agricultor al recolectar el producto, lo que no hace viable el considerar este tipo de maquinaria robusta y automatizadas.

Para poder documentar esta etapa, se generaron los diagramas mostrados en las Figuras 4 y 5 que muestran el funcionamiento general de la máquina, así como algunas medidas preliminares y datos generales de la misma. Después del QFD, fue posible generar el diagrama del proceso del dispositivo, el cual se puede observar en la Figura 4, que indica como entrada el tubérculo y con la energía necesaria para que funcione el dispositivo; contemplando que en el proceso se debe sujetar la herramienta de recolección para posteriormente recoger el tubérculo y finalmente colocarlo en el contenedor, y

realizar esta operación de manera sucesiva para obtener el tubérculo ya separado de la guía, aunque por otro lado, se obtendrán junto

con el tubérculo piedras y raíces en el mismo contenedor que deberán ser separadas posteriormente.

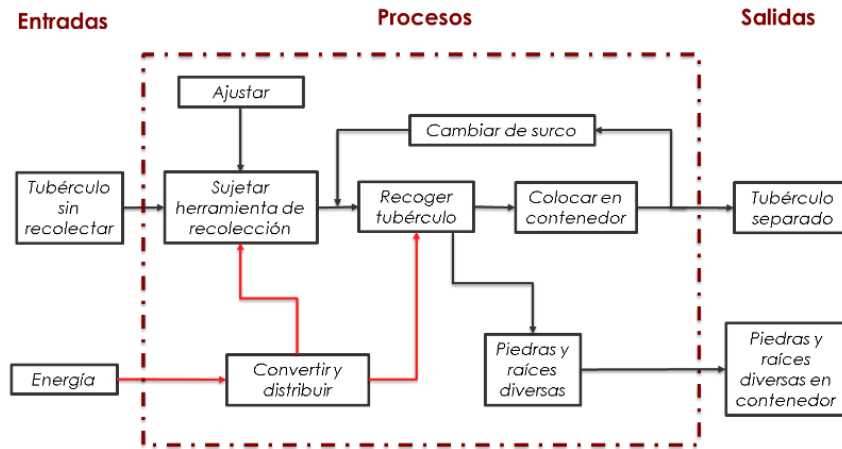


Figura 4. Diagrama de Proceso del dispositivo. Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 5, se pueden observar las funciones que deberán realizar los componentes del dispositivo, como la operación de sujetar la herramienta de recolección que será realizada por unos *clamps* de sujeción y cortadores; y la operación de recoger el tubérculo será realizada por un mecanismo de recolección,

sujetadores manuales o mordazas y para la contención de piedras y raíces sueltas, permitiendo llevar a cabo por una canastilla de metal, contenedor plástico o base metálica, al igual que muestra las diferentes posibilidades de diseño a considerar para la fabricación del dispositivo.

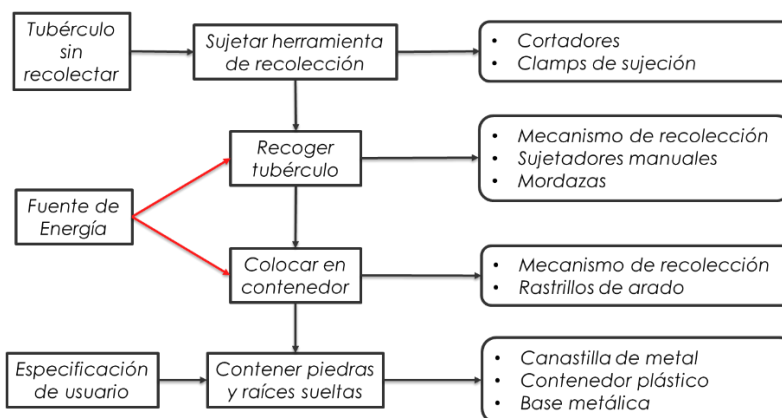


Figura 5. Diagrama de Funciones del Dispositivo. Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 3, se pueden observar los elementos que se propusieron inicialmente para realizar las funciones por pasos que

llevará a cabo el dispositivo: Para la función de sujeción se propuso utilizar sujetadores o *clamps* para la función de recolección, así

como cortadores manuales para hacerlo de manera manual, y para los dispositivos recolectores también cuentan con la opción de dos tipos de recolectores para elegir uno de

ellos. En el caso de los contenedores de producto se pueden utilizar charolas metálicas o rejillas.

Tabla 3. Alternativas para la elección de elementos.

Función	Alternativa	Alternativa 1	Alternativa 2
Sistema de Sujeción/ Corte	Sujetadores		
Sistema de recolección	Cortadores		
	Dispositivos recolectores		
Sistema de almacenamiento	Contenedores		

Fuente: Elaboración propia.

ETAPA 3: Desarrollo del prototipo

Una vez evaluadas las alternativas descritas en la Tabla 3, se eligieron las siguientes opciones:

- *Función de sujeción:* El dispositivo de recolección realizará esta función, por lo que no será necesario contar con mecanismos adicionales.
- *Función de corte:* También se eliminan, ya que los picos del dispositivo recolector cortarán el tubérculo, una vez que lo saque de la tierra.
- *Sistema de recolección:* La alternativa 2 de dispositivo recolector es la más idónea debido a que la geometría y

material propuesto permitirá excavar bajo la capa superficial de la tierra extrayendo los tubérculos.

- *Almacenamiento:* Se optó por utilizar una rejilla que permitirá que las piedras, tierra y otros residuos o desechos se puedan eliminar fácilmente y pueda mantenerse solamente el tubérculo recolectado.

Una vez seleccionados los materiales para el diseño del dispositivo recolector, se muestran en la Figura 6 los componentes generales del dispositivo con apoyo del software SolidWorks® versión 2019.

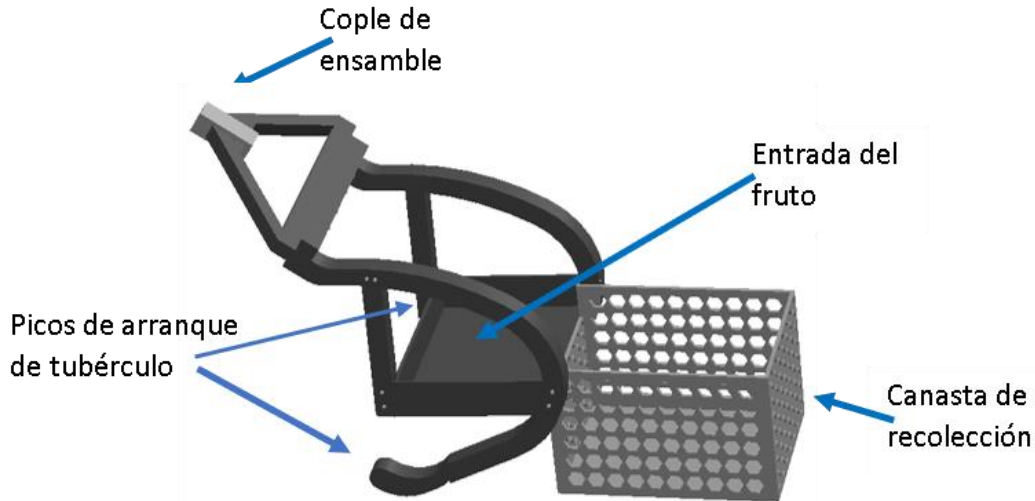


Figura 6. Propuesta de máquina extractora de tubérculos. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7, se muestra el dimensionamiento general de la máquina propuesta, lo que indica que puede ser jalada por cualquier vehículo de trabajo, ya sea una camioneta o un tractor. Se busca que se pueda ensamblar por la parte superior con unos acoplamiento o un sistema de tirón para comenzar a recoger el tubérculo de la tierra.

El proceso de recolección consiste en lo siguiente:

1. Colocación del acoplamiento en el vehículo que se vaya a utilizar, ya sea una camioneta de trabajo o un tractor en la parte superior del dispositivo, como se ve en la Figura 6.
2. Posición del dispositivo quedando inclinado hacia abajo, para que los picos puedan entrar hasta donde “tope” la charola de entrada de tubérculo.
3. Colocación de los picos de abajo del dispositivo, entrando en la tierra

donde se comienza con la cosecha del tubérculo u hortaliza.

4. Inicio de la recolección; el vehículo avanza y puede ir arrastrando tierra, tubérculos, piedras y demás elementos encontrados en el campo, y posteriormente se colocarán en la canasta de recolección, la cual filtrará elementos durante el recorrido de los surcos.
5. Revisión del tubérculo y separación de los desechos encontrados, cada que se recorra el surco.

La ventaja del uso de este dispositivo es que el agricultor ya no tiene que estar en el campo realizando la operación de corte y tener que inclinarse para recolectar el tubérculo, solo tendrá que recoger de la canasta los tubérculos y separarlos de acuerdo con los requerimientos de su cliente.

En la Figura 7, se puede apreciar la posición inicial para comenzar con la recolección del tubérculo.

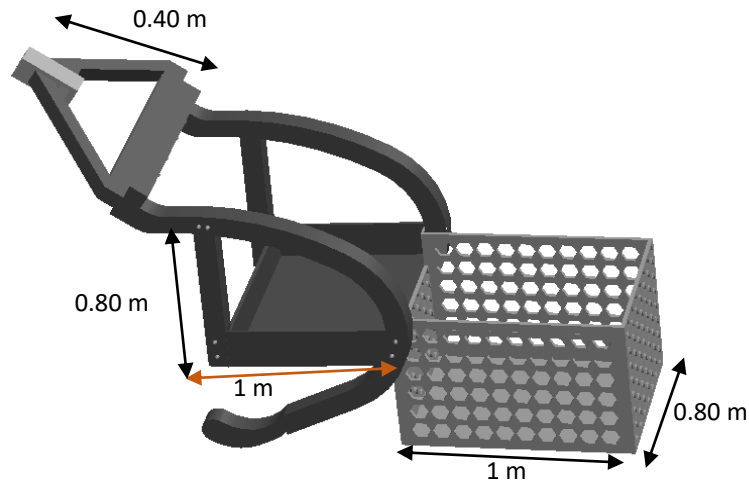


Figura 7. Dimensiones generales de la máquina extractora de tubérculos. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA 4: Pruebas de diseño y usuario

Empleando el complemento de simulación del software se analizaron los principales parámetros mecánicos de acuerdo con las cargas y trayectorias de movimiento de cada uno de los elementos, para predecir su comportamiento previo al maquinado.

En la Figura 8 a, se muestra la imagen del mallado efectuado para realizar un análisis estructural de los componentes y de acuerdo con el resultado obtenido, los elementos más propensos a deformarse son las caras

inferiores de la parrilla y el contenedor por las fricciones generadas al ir moviéndose a través del área de cosecha y el peso de esta. La Figura 8 b, señala por medio de flechas de color rosa el sentido de las fuerzas ejercidas en las caras superiores tanto de la parrilla recolectora y como del contenedor, mismas que reciben el peso de los tubérculos y la arena al momento de la carga inicial. En la Figura 8 c, se puede observar la superficie en la que se presentaba una mayor fatiga debido a la fuerza de sujeción entre el vehículo de tracción y el mecanismo de recolección indicado en color azul.

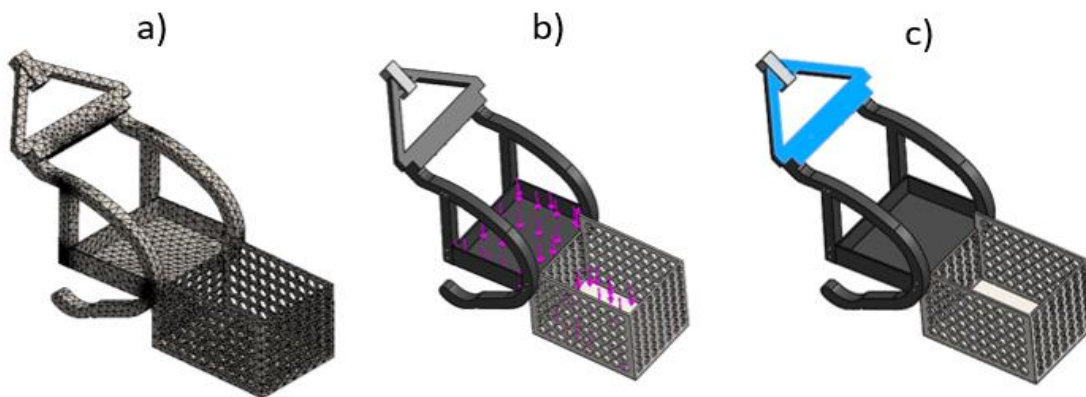


Figura 8. Esquemas de simulación del prototipo, a) Mallado para análisis de pandeo, b) señalización de las fuerzas ejercidas para la recolección de los tubérculos (flechas color rosa), c) componente en el que se presenta una mayor posibilidad de fatiga (cara de color azul). Software: SolidWorks® Versión 2019. Fuente: Elaboración propia.

Se comprobó en campo la funcionalidad del prototipo al recolectar diferentes tubérculos. En la Figura 9 se muestra la vista frontal del dispositivo fabricado, derivado del análisis de diseño y de la simulación. Determinando que tanto la geometría, como las dimensiones, mecanismos y movimientos, cumplen con los requerimientos del cliente, así como la función de recolección de tubérculos en los cultivos de los agricultores del Rancho La Purísima en el estudio presentado.



Figura 9. Máquina extractora de tubérculos. Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El dispositivo fue adaptado a un vehículo motorizado (ver Figura 10), se probó en cinco hectáreas de cultivo en el que trabajaban 20 agricultores recolectando tubérculos, anteriormente se invertía un total de 20 días en la recolección manual, al implementar el dispositivo se pudo constatar que se logró reducir al 50% el tiempo de recolección contemplando la misma cantidad de personal, cumpliendo así con los mismos requerimientos de los usuarios finales con respecto a la recolección y separación del tubérculo; mejorando al mismo tiempo los requerimientos de los recolectores dado que ya no tenían que inclinarse para recolectar el tubérculo, solo encargarse de la separación de los mismos (ver Figura 11). Lo anterior permite evidenciar una efectividad en el

dispositivo al reducirse los tiempos de recolección, y entrega oportuna de los tubérculos al cliente final.



Figura 10. Dispositivo adaptado en un vehículo motorizado para la cosecha de tubérculos. Fuente: Elaboración propia.

Comparando el dispositivo con otros arados similares en el mercado, como los semiautomatizados, el tipo de arado son básicamente arrancadores y ensacadores, pudiendo dejarlos sobre el suelo para su posterior recolección, o sobre la máquina para luego separarlo de los terrones y restos vegetales. Asimismo, se pueden encontrar en el mercado dispositivos para cosecha mecanizada que se apoyan en un tipo de arado automotriz de cuatro hileras con bunker, en el que las máquinas que arrancan, recogen y montan los tubérculos, sin uso de mano de obra posterior, además cabe mencionar que este tipo de arados trabajan de forma muy industrializada para grandes cantidades de cosecha de tubérculos y sus costos son elevados (Orena, 2020), lo que hace que ambas alternativas no sean viables para las necesidades de los agricultores del municipio de Santa María del Río, S.L.P.



Figura 11. Dispositivo empleado en la cosecha.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se puede verificar la serie de tiempo que muestra los días que se han invertido para la recolección del camote desde el año 2014, en el que invertían 30 días; para el 2015 requirieron de 32 días; en el 2016 fueron 28 días; para el 2017 se invirtieron 27 días, para el 2018 fueron 29 días y finalmente en el año 2019 solo emplearon 9 días al utilizar el dispositivo, lo cual disminuyó el tiempo invertido pronosticándose para el 2020 un promedio de 24 días.

Para esta serie de tiempo, se obtuvieron los datos de los días de cosecha de la parcela completa, tomando en cuenta 80 surcos, en base a la jornada laboral de 6 horas de trabajo por día por el conjunto de recolectores (10 personas).

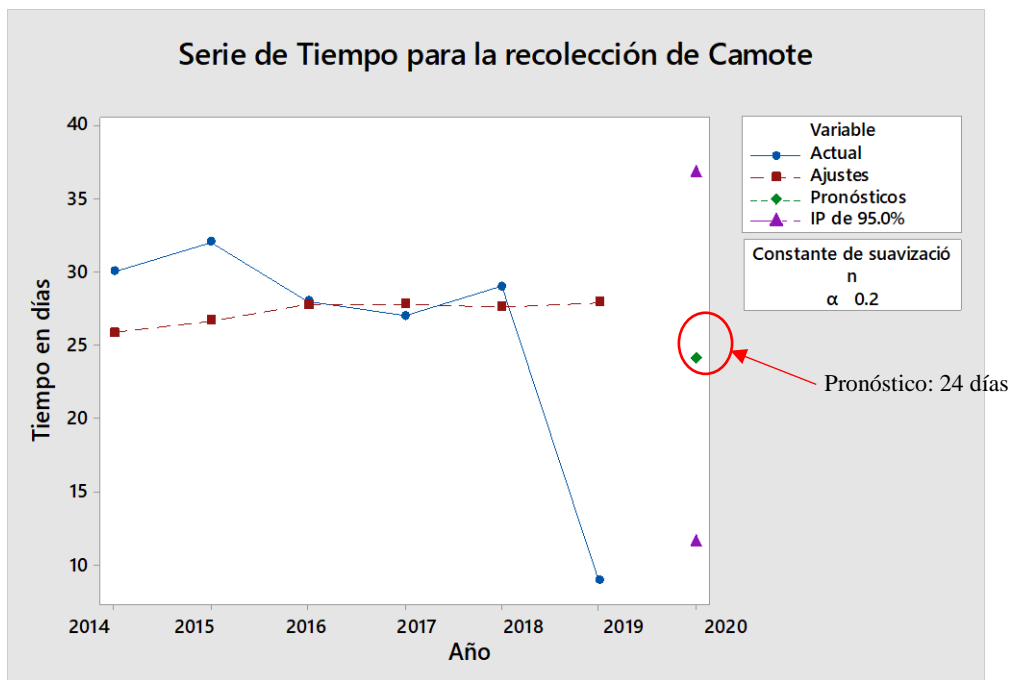


Figura 12. Serie de tiempo de recolección de camote en el Rancho "La Purísima". Software: Minitab® 19. Fuente: Elaboración propia.

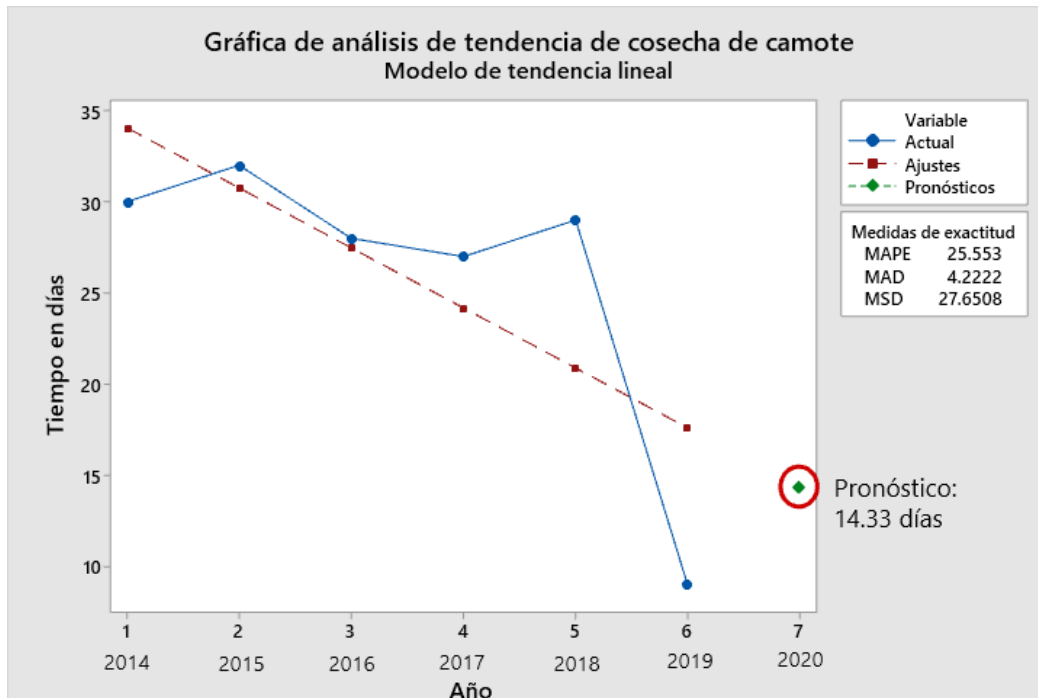


Figura 13. Análisis de tendencia de la recolección de camote en el Rancho "La Purísima". Software: Minitab® 19.
Fuente: Elaboración propia.

Como análisis de la serie de tiempo, se anexa la Figura 13 que nos muestra que existe una tendencia lineal (línea roja de regresión) hacia la baja en cuanto al pronóstico del tiempo de recolección, y se hace una nueva proyección de 14.33 días para la obtención de la cosecha completa; sin embargo, este valor considera los años anteriores sin el uso del dispositivo, lo que quiere decir que utilizándolo se reduciría aún más de 14 días el tiempo de recolección para la cosecha de la parcela completa, lo cual, nos deja con una reducción en tiempo del 50% (tomando en cuenta los 14 días de pronóstico general), pero en la realidad, al usarse el dispositivo se redujo en un 70%.

Al utilizar un solo dispositivo, se está reduciendo el esfuerzo excesivo de 10 personas en el campo, y se limita solamente a realizar la actividad de separar el fruto en cuanto a tamaño y aspecto por parte de los 10 operadores.

Cabe mencionar que no se desocuparon trabajadores en la recolección de tubérculos, solo se disminuyó el tiempo de trabajo en un 70% con referencia al tiempo invertido desde el 2014 hasta el 2019, ya que los recolectores reciben su remuneración económica con base en lo recolectado y no al tiempo invertido en la recolección; por lo que resulta muy factible el uso de tecnología intermedia para seguir con el trabajo del agricultor e invertir el tiempo en otras labores.

CONCLUSIONES

El dueño de la parcela terminó de cosechar la cantidad de camote esperada en cada año de recolección; la diferencia radicó en que el tiempo se pudo disminuir en el año 2019, con el uso del dispositivo en un 70%; lo que trajo como beneficio la venta del producto en menor tiempo y dentro de las fechas en que éste se encuentra en las mejores condiciones para poder ser almacenado sin sufrir algún deterioro.

Hoy en día se busca que la empresa e industria puedan ser capaces de generar un plan de integración entre la parte de la producción, así como de la comercialización por medio de diversas estrategias y herramientas que posibiliten garantizar la satisfacción del cliente para generar una lealtad y posible recomendación que les conlleve a incrementar su participación de mercado. La industria 4.0 propone crear valor a través del análisis del big data para la generación de alternativas en la toma de decisiones, la cual va encaminada a la reducción de los costos operativos; lo anterior requiere pensar no únicamente en las empresas transnacionales y multinacionales que le apuestan a la tecnología y procesos que mediante la industria 4.0 les permitan ser más competitivas, sino que se requiere generar apoyo a los pequeños agricultores con mecanismos y tecnologías que incrementen su productividad en beneficio de su entorno social y económico, lo que permite darle vida a procesos de estandarización en los diferentes herramientas, que les posibilite tener un proceso de cosecha y recolección más efectivo, con apoyo del prototipado rápido en el diseño y fabricación del prototipo a un bajo costo y con pruebas preliminares de desempeño para asegurar el funcionamiento antes de la fabricación del dispositivo, propiciando como principal beneficio el bienestar económico de las familias que se involucran en el proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basurto, F. (2015). Conocimiento actual del cultivo de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) en México. *Agro Productividad*, 8(1), Article 1. <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/635>.
- Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (2009). Developing Maturity Models for IT Management. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3), 213-222. <https://doi.org/10.1007/s12599-009-0044-5>.
- Bhattacharjee, N., Urrios, A., Kang, S., & Folch, A. (2016). The upcoming 3D-printing revolution in microfluidics. *Lab on a Chip*, 16(10), 1720-1742. <https://doi.org/10.1039/C6LC00163G>.
- Bordeleau, F.-È., Mosconi, E., & Santa-Eulalia, L. A. (2018, enero 3). *Business Intelligence in Industry 4.0: State of the art and research opportunities*. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2018.495>.
- Cobeña Ruiz, G., Cañarte, E., Mendoza, A., Cárdenas Guillén, F. M., & Guzmán Cedeño, A. (2017). *Manual técnico del cultivo de camote*.
- Dubois, D., Esteva, F., Godo, L., & Prade, H. (2001). An information-based discussion of vagueness. *10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems. (Cat. No.01CH37297)*, 2, 781-784 vol.3. <https://doi.org/10.1109/FUZZ.2001.1009071>.
- El cultivo del camote en México | Gimtrac*. (2016). <http://www.gimtrac.com.mx/node/1300>.
- ElMaraghy et. al, H. (2009). *Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems*. Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9781848820661>.
- Hardee, E., Chang, K.-H., Tu, J., Choi, K., Grindeanu, I., & Yu, X. (1999). A CAD-based design parameterization for shape optimization of elastic solids. *Advances in Engineering Software*, 30, 185-199.

- [https://doi.org/10.1016/S0965-9978\(98\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0965-9978(98)00065-9).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>.
- Islas, O. (2008). *La sociedad de la ubicuidad, los prosumidores y un modelo de comunicación para comprender la complejidad de las comunicaciones digitales*. 12.
- Jerez-Mompié, E., Martín-Martín, R., & Morales-Guevara, D. (2017). Evaluación del crecimiento y composición por tamaño de tubérculos de plantas de papa para semilla. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 102-110. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362017000400015&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Martínez-Moreno, D., Reyes-Matamoros, J., & Basurto-Peña, F. (2018). *Asignación de recursos en camote - Ipomea batatas (L.) Lam.- en Atlixco, México*. 5(4), 11.
- Orena, S. (2020). *Manual Papa*. <https://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=84>.
- Porras Martínez, C., & Brenes Angulo, A. (2015). Calidad de los tubérculos y componentes de rendimiento de híbridos fl de papa (*Solanum tuberosum*). *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i3.21788>.
- Rauch, E. (2017). Designing assembly lines for mass customization production systems. En *Mass Customized Manufacturing* (pp. 33-54). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315398983-11>.
- Rodríguez, F. A. (2013). Orígenes de la customización masiva: Las interacciones individuales consumidor-marca dentro de mercados masivos en el marketing. *Revista de comunicación*, 12, 182-196. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4509792>.
- Rojas, M., & Adela, L. (2018). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote (Ipomea batata) para aplicaciones alimentarias*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28375>.
- Sánchez, F. J., Javier, A., & Llorente Geniz, J. (2004). *Técnicas de prototipado rápido*. 8.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx*. <https://www.gob.mx/agricultura>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx*. <http://www.agricultura.gob.mx/sader/datos-2017>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera. (2019). *La papa, el cuarto cultivo de mayor producción en el mundo*. gob.mx. <http://www.gob.mx/siap/es/articulos/1a-papa-el-cuarto-cultivo-de-mayor-produccion-en-el-mundo?idiom=es>.
- Sivaloganathan, S., & Evbuomwan, N. F. O. (1997). Quality Function Deployment—The Technique: State of the Art and Future Directions. *Concurrent Engineering*, 5(2), 171-181. <https://doi.org/10.1177/1063293X9700500209>.

- Standardization: Fundamentals, Impact, and Business Strategy*. (2009). 288.
- Torabi, K., Farjood, E., & Hamedani, S. (2015). Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature. *Journal of Dentistry (Shiraz, Iran)*, 16(1), 1-9.
- Uhl, T., Mrozek, Z., & Petko, M. (2000). Rapid Control Prototyping for Flexible Arm. *IFAC Proceedings Volumes*, 33(26), 475-480.
[https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)39189-9](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)39189-9).
- Vladan, A., & Gligorče, V. (2010). *Growing rapid prototyping as a technology in dental medicine*. Semantic Scholar. /paper/Growing-rapid-prototyping-as-a-technology-in-dental-Vladan-Gligor%C4%8De/0bd2ea922244940658050e52e058af74b8a18b5c.