

## Propuesta de una plantadora de yuca y cultivos similares con enfoque de sostenibilidad

### Proposal for a plantation of cassava and similar crops with a focus on sustainability

José Antonio González Marrero<sup>1</sup> ([dpagro@ult.edu.cu](mailto:dpagro@ult.edu.cu)) (<https://orcid.org/0000-0002-1427-4059>)

Rolando Borrero Rivero<sup>2</sup> ([rolandobr@ult.edu.cu](mailto:rolandobr@ult.edu.cu)) (<https://orcid.org/0000-0002-2428-3389>)

#### Resumen

La mecanización del proceso de plantación de la yuca constituye una necesidad debido al incremento de las áreas dedicadas a este cultivo, así como, a la gran cantidad de fuerza de trabajo no disponible en nuestras empresas agrícolas, que se requieren tanto para realizar esta labor como la de muchos otros cultivos que coinciden en la época óptima de siembra. Por otra parte, los equipos existentes para ello, no satisfacen todos los requerimientos del cultivo o no son aceptados en los sistemas agrícolas por los altos insumos que requieren para su operación, mantenimiento y reparación o por otros intereses de índole social. El presente artículo se realizó con el objetivo de diseñar, construir y evaluar una plantadora de yuca que permita la plantación automática de las estacas y dé la posibilidad de pasar al régimen semimecanizado (selección de las estacas por un operario), así como que garantice la labor con la calidad requerida, bajo los diferentes métodos, profundidades y distancias de plantación existentes y la variabilidad que presenta el material de plantación. Además, se caracterice por su simplicidad técnica, de modo que los requerimientos de recursos tecnológicos, materiales y financieros para su construcción y explotación sean los mínimos y ello facilite su viabilidad económica y aceptación por los productores.

**Palabras clave:** diseño, plantadora, yuca, maquinaria agrícola, medioambiente, sostenibilidad.

#### Abstract

The mechanization of the cassava planting process is a necessity due to the increase in the areas dedicated to this crop, as well as the large amount of labor force not available in our agricultural enterprises, which is required both for this work and for many other crops that coincide in the optimal planting season. On the other hand, the existing equipment for this purpose does not satisfy all the requirements of the crop or is not accepted in the agricultural systems due to the high inputs required for their operation, maintenance and repair or due to other interests of a social nature. This article was

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias Técnicas Agrícolas. Profesor Titular. Jefe Grupo CTI. Profesor de Mecanización Agrícola de la carrera Agronomía. Universidad de Las Tunas, Cuba.

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias pedagógicas. Profesor Titular. Profesor del Centro de Estudios de Dirección (CEDIT). Universidad de Las Tunas, Cuba.

carried out with the objective of designing, constructing and evaluating a cassava planter that allows the automatic planting of cuttings and gives the possibility of passing to the semi-mechanized regime (selection of cuttings by an operator), as well as guaranteeing the work with the required quality, under the different methods, depths and distances of existing planting and the variability that the planting material presents. In addition, it should be characterized by its technical simplicity, so that the requirements of technological, material and financial resources for its construction and operation are the minimum, thus facilitating its economic viability and acceptance by producers.

**Key words:** design, planter, cassava, agricultural machinery, environment, sustainability.

### Introducción

La yuca es la cuarta fuente de calorías en la alimentación humana producida en el trópico. En esta misma zona su demanda como fuente de energía básica ha crecido en los últimos años. La creciente importancia del cultivo en las zonas tropicales, ha motivado el desarrollo de programas de investigación y capacitación de profesionales de los países interesados en la producción y el aprovechamiento de esta importante fuente energética (CIAT, 1988).

El cultivo de la yuca es sencillo y se puede aplazar la cosecha por uno o dos años y aún más, por lo cual el suelo sirve como depósito de la cosecha; además, esta planta presenta la ventaja de que no le ocurren grandes daños durante su transportación (López y Vázquez, 1995).

En Cuba no existe un complejo de máquinas definido, específico para la mecanización del cultivo de la yuca, incluyendo el proceso de plantación. Realmente, sólo existen soluciones realizadas por técnicos para resolver problemas locales. De aquí que la mecanización sea cada vez más importante y aún más cuando se trata de grandes extensiones que deben cultivarse en un período corto porque la yuca es un cultivo que exige gran cantidad de mano de obra.

El presente artículo se realizó con el objetivo de diseñar, construir y evaluar una plantadora de yuca que permita la plantación automática de las estacas y dé la posibilidad de pasar al régimen semimecanizado (selección de las estacas por un operario), así como que garantice la labor con la calidad requerida, bajo los diferentes métodos, profundidades y distancias de plantación existentes y la variabilidad que presenta el material de plantación. Además, se caracterice por su simplicidad técnica, de modo que los requerimientos de recursos tecnológicos, materiales y financieros para su construcción y explotación sean los mínimos y ello facilite su viabilidad económica y aceptación por los productores.

### Materiales y métodos

El desarrollo del trabajo investigativo incluyó la revisión y consulta de un gran número de documentos: libros de texto, artículos científicos recogidos en publicaciones

periódicas e Internet, documentos normativos, informes técnicos y patentes, además de las necesarias consultas a especialistas de entidades nacionales y extranjeras. La revisión de patentes abarcó las variantes constructivas de las máquinas en los últimos 41 años.

La búsqueda y valoración crítica de la información se dirigió hacia los parámetros agrotécnicos y propiedades físico – mecánicas del cultivo de la yuca útiles para la mecanización del proceso de plantación, variantes constructivas fundamentales de las plantadoras de yuca y cultivos similares, tendencias del conocimiento relacionadas con el tema y métodos investigativos y de análisis teóricos y experimentales de los fenómenos involucrados en el proceso de diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola.

## Resultados

El análisis crítico de la literatura permitió establecer las siguientes realidades:

- a) Los parámetros agrotécnicos tales como: marcos, métodos y formas de plantación, profundidad de siembra y altura de la capa de tierra sobre la estaca, cantidad de yemas por estaca y su longitud, así como los requisitos de los diámetros de los tallos, partes y edad de la planta para ser tomadas como material de plantación están correctamente definidos y fundamentados en la literatura revisada y están influenciados por las características de los clones y las condiciones edafoclimáticas y fitotécnicas.
- b) En la literatura revisada no se encuentra definido un conjunto de parámetros que son útiles para el diseño de las tolvas y de los órganos de selección y entrega de la plantadora que el autor propone. Estos son: ancho, diámetro, ángulos de fricción sobre diferentes superficies, peso, peso volumétrico y centro de gravedad de las estacas, así como las relaciones entre estos parámetros y los demás que intervienen en el proceso de plantación de la yuca.
- c) No se conoce completamente el comportamiento de todos estos parámetros, en distintas condiciones edafoclimáticas y fitotécnicas de los principales clones que se cultivan en la provincia. Los trabajos encontrados solo muestran, en la mayor parte de los casos, una descripción estructural muy general de diferentes plantadoras desarrolladas. No se encuentra patentada ninguna plantadora específica para el cultivo de la yuca, lo cual puede indicar que las desarrolladas son soluciones regionales o en el ámbito experimental. Por otra parte, las plantadoras de caña de azúcar que se describen, no satisfacen todos los requerimientos agrotécnicos del cultivo de la yuca. A pesar de existir buenas máquinas plantadoras, tanto para caña y cultivos similares como específicas para el de la yuca, no se encuentran introducidas en nuestra agricultura. Algunos autores consideran que, en su diseño, no se tienen en cuenta los aspectos socioeconómicos que prevalecen, también que los órganos fertilizadores unidos a las plantadoras, disminuyen sensiblemente su productividad. Las máquinas que se describen se caracterizan por su complejidad y gran tamaño. Se

manifiesta una tendencia a la automatización del proceso de acomodamiento, transporte y selección y entrega de los trozos dentro de las plantadoras. Las grandes tolvas utilizadas requieren de la mecanización del proceso de llenado. De los aspectos anteriores se infiere que, para la construcción y explotación de estas plantadoras, se necesita gran cantidad de recursos y un equipamiento tecnológico adecuado.

- d) Las metodologías que se describen reflejan claramente los principales elementos para tener éxito en el proceso de innovación y de creación de nuevos productos. Estas no son lo necesariamente explícitas para llevar a cabo el proceso de diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola y no revelan los principales instrumentos para desarrollar cada etapa o fases de éste.
- e) La revisión bibliográfica mostró que no existe elaborada una teoría y cálculo semejante en todos sus aspectos para la tolva y órgano distribuidor diseñados por el autor.

A partir de ello, se diseñó la propuesta que se presenta a continuación.

#### *Diseño de la plantadora de yuca*

Para el diseño de la plantadora se utilizó la Metodología para el diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola con enfoque sostenible planteada por González y Borrero (2023). La máquina diseñada se comparó con los resultados de la labor manual y la plantadora SIA-3.

La mecanización de los diferentes procesos tecnológicos agrícolas debe realizarse de forma racional tanto técnica como económicamente para que los problemas se solucionen adecuadamente. Las máquinas que se diseñen y fabriquen deben satisfacer todos los requerimientos agrotécnicos, ser viables económicamente, ecocompatibles y garantizar que sea factible su introducción y aceptación en los sistemas agrícolas.

El proceso de plantación del cultivo de la yuca incluye la preparación de las estacas, la formación de los canteros o surcado, la fertilización antes o durante la plantación, la aplicación de agua junto con la colocación o plantación del esqueje a una determinada profundidad, cubrimiento de las estacas con una capa de tierra y subcompactación del suelo de forma simultánea alrededor de ésta.

La plantación puede realizarse en canteros, en el plano y en surcos, lo cual depende en lo fundamental, de las condiciones edafoclimáticas de cada región. Se recomienda también que las estacas deben ser tratadas fitosanitariamente antes de ser plantadas.

La plantadora se diseñó para que sea capaz de plantar a las diferentes distancias entre hileras y entre plantas establecidas y en estudio, lo que permite la plantación de diferentes clones en condiciones fitotécnicas diversas.

Para la fabricación de los órganos de trabajo se usaron elementos de fabricación nacional empleados en otras máquinas, así como laminado de fácil adquisición y

materiales de desecho de la reparación de implementos. Se hizo necesario la adquisición de cojinetes para las ruedas motrices y subcompactadoras tapadoras.

La tecnología para la fabricación de los diferentes elementos se elaboró de forma asequible, tanto por los medios que se necesitan, como por los métodos, condiciones para realizarla y por el nivel y calificación técnica y profesional que necesitan los obreros y técnicos para fabricarla. En el diseño se tuvo la concepción de que la estructura o bastidor de la máquina pueda ser utilizada como base para el montaje de otros órganos de trabajo, tales como órganos cultivadores - fertilizadores, surcadores - aporcadores y de preparación de suelos. Para ello, la forma de ensamblaje y el diseño se realizaron de manera que se permite desmontar con facilidad los elementos de la plantadora.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta en el diseño de la plantadora fue la facilidad y recursos mínimos para su reparación, mantenimiento y operación. Esto se manifiesta a partir de los órganos y elementos seleccionados y su forma de ensambladura, los cuales no poseen regulaciones técnicas complejas.

La compatibilidad con los usuarios, se materializó por la participación de éstos en su concepción, en la simplicidad de funcionamiento y facilidad de operación, reparación y mantenimiento de la máquina. También en el diseño se tuvo en cuenta la continuidad de ulterior desarrollo tecnológico. Por último, también se tuvo en cuenta las posibilidades de ampliación y aplicaciones, para lo cual solo hay que realizar el cambio de dos elementos: el órgano de selección y entrega y la tolva, para poder ser usados en el cultivo de la caña y de la papa.

Los problemas tecnológicos que se resuelven con la plantadora construida son: la selección y entrega automática de las estacas; la plantación en las diferentes distancias entre plantas, profundidades y sistemas existentes; la utilización de estacas de diferentes diámetros y anchos; aumentos de las velocidades de trabajo y la posibilidad del uso del bastidor de la máquina para la instalación de otros órganos de trabajo. (González, 1999).

#### *Principales conclusiones de la evaluación agrotécnica de la plantadora*

Los índices de profundidad e irregularidad de siembra, rectilineidad, distancia entre hileras, capacidad de siembra, distancia entre semillas y altura de tapado, se comportaron de forma similar en ambos regímenes. En la velocidad V (CR) se reportó los mejores resultados del trabajo en todos los índices evaluados excepto en el tapado. La profundidad e irregularidad de siembra, rectilineidad, norma de siembra real, capacidad de siembra y la distancia entre semillas estuvieron dentro de los límites de variabilidad exigidos.

Las ruedas tapadoras – subcompactadoras no satisficieron los requisitos de calidad en las condiciones de suelo en la cual se realizaron las pruebas.

La desviación del centro de gravedad de las estacas, fue la causa del aumento de los daños mecánico a las yemas y de la disminución de la calidad de la plantación, al afectar el flujo adecuado de las estacas dentro de la tolva.

El régimen 'sin tolvas' presentó mejores resultados en el comportamiento de la norma real y en el por ciento de daños mecánico a las estacas.

#### *Principales conclusiones de la evaluación tecnológica – explotativa y energética de la plantadora*

La productividad de tiempo de turno y por hora de tiempo explotativo, se afectaron principalmente por los tiempos de paradas tecnológicas y para la eliminación de los fallos técnicos en ambos regímenes. Esto indica la necesidad de perfeccionar en la máquina la capacidad de la tolva y los elementos constructivos referidos a la fijación de las ruedas dentadas y abridores. Los aspectos mencionados afectan sensiblemente los coeficientes de seguridad técnica, de utilización del tiempo productivo y explotativo y principalmente el de servicio tecnológico.

La máquina en el régimen 'sin tolvas', alcanzó una productividad por hora en el tiempo de turno de 0.38 ha. h<sup>-1</sup> y un consumo de combustible de 9.21 kg.ha<sup>-1</sup> y 'con tolvas' 0.23 ha. h<sup>-1</sup> y 15.21 kg.ha<sup>-1</sup> de combustible.

Los resultados mostraron un comportamiento mucho mejor de la plantadora cuando trabajó sin tolvas que cuando lo hace con ellas en todos los índices evaluados. Por ello, es más factible usarla en condiciones de producción sin las tolvas.

#### *Principales conclusiones de la evaluación económica*

Los resultados económicos más favorables, los presentó la plantadora sin el uso de tolvas con respecto al uso de ellas, a la labor manual y a la plantadora SIA-3, en todos los indicadores evaluados.

El régimen sin tolvas reportó los mejores resultados. Se obtuvo 4.17 pesos por unidad anual de inversiones básicas específicas y 9.09 \$/ha de gastos transferidos por unidad de producción.

Con relación a la labor manual y a la plantadora SIA-3, se produce con el empleo de la plantadora en el régimen 'sin tolvas' una economía anual de los gastos transferidos de 3944.17 pesos y 2008.31 pesos respectivamente. La máquina con el uso de tolvas, también presentó buenos resultados en este indicador con relación a la labor manual y a la SIA-3.

El grado de reducción de los gastos en ambos regímenes superó el 34 %, el sin tolvas alcanzo el mejor resultado con una reducción del 61.91 %.

La reducción de la demanda de fuerza de trabajo por la máquina nueva es altamente significativa, reportándose una reducción del 58.34 y del 75.22 % en los regímenes con y sin tolvas respectivamente.

El plazo de recuperación de la inversión de la plantadora propuesta se realiza antes del año, requiriendo solo 0.28 año el prototipo sin tolvas.

## Discusión

### *Antecedentes de la mecanización del proceso de plantación de la yuca y cultivos similares*

En Cuba actualmente no existe un complejo de máquinas definido específico para la mecanización del cultivo de la yuca. En su mayoría lo que existen son soluciones locales por técnicos para resolver los problemas (Martínez, 1995).

En el instructivo técnico del cultivo se recomiendan utilizar para la plantación de la yuca, las trasplantadoras Trakia o TR-4, de las cuales no se ha encontrado nada acerca de su desempeño en ésta labor. Así mismo se recomienda la Alquizar, que presenta la misma situación que las anteriores (López y Vázquez, 1995). Las máquinas mencionadas no facilitan el cumplimiento de todos los requerimientos del proceso de plantación del cultivo.

Grace (1977) planteó que se ha fabricado un plantador mecánico en Brasil que se está utilizando en este país y México. Es un plantador de dos hileras que utiliza un tractorista y dos hombres sobre la máquina para cargar estacas desde artesas de reserva en una plataforma giratoria de plantación rotatoria. Al funcionar, las estacas caen sucesivamente a través de un orificio, en un surco abierto por un surcador simple, un par de discos lanzan la suciedad en el surco y flotadores tirado por cadenas empaquetan el suelo sobre las estacas. La capacidad de la plantadora es 5 ha/día. También que se ha creado una unidad para realizar el acaballado y la plantación modificando un plantador en caballones para trabajar como abresurcos – plantador y un cultivador para trabajar como plantador de 6 hileras después de haber formado los caballones en el área.

Reboul (1984) describe una sembradora – fertilizadora de 2 hileras, de suspensión con ruedas neumáticas y un distribuidor de cadena para las estacas, así como discos de aporque regulables. Su factibilidad dependió de: utilización de estacas jóvenes de 2 ó 3 cm de diámetro, limpieza del terreno, de los tocones y raíces del cultivo anterior y de la velocidad del tractor que debe ser mediana (3 – 4 km/h) y puede sembrar de 3000 – 4000 m<sup>2</sup>/h.

Massey Ferguson diseño una sembradora en surco la cual excava el surco, corta los tallos a la longitud deseada, los deposita en el surco, coloca el fertilizante a ambos lados de las estacas y las cubre con tierra (CIAT, 1980).

En Brasil el grado más alto de mecanización se obtuvo empleando una plantadora de dos ruedas, enganchada a un tractor, la cual surca, fertiliza, planta horizontalmente las estacas y las cubre con tierra. En Nigeria se ha desarrollado una plantadora de 2 hileras totalmente automática, enganchada a un tractor que funciona con velocidades de hasta 10km/h. Esta plantadora está diseñada para estacas de 2-5 cm de diámetro y excluye

las de diámetro menores por su baja viabilidad. Las estacas de 8,5 cm de longitud se plantan a 17 cm de profundidad en ángulos hasta de 80° según la velocidad del tractor. El espaciamiento es de 90 x 90 cm en camellones pequeños. El mecanismo dosificador está operado por las ruedas de transmisión (CIAT, 1980).

En otros casos estudiados Schulte (1973) registró buenos resultados con una trasplantadora de legumbres New Holland que planta un promedio de 0,28 ha/h. Él indicó que debería ser posible desarrollar una trasplantadora para plantar estacas en camellones y plantar en una sola operación y afirma que probablemente se podía adaptar a implementos de la trasplantadora de legumbres o tabaco para poder plantar estacas verticalmente.

La plantadora de yuca SANS brasileña es una sembradora fertilizadora tirada por tractor. Con tres operadores se siembra un promedio de una ha/h, con una economía de mano de obra de aproximadamente 80 % (Máquina agrícola SANS, 1987).

En los resúmenes de los trabajos que aparecen en Bibliografía Venezolana de yuca (1993) se plantean los resultados de un estudio exploratorio sobre la mecanización del cultivo de la yuca. Estos comprenden la utilización de varias máquinas adaptadas para la plantación, y se concluye que la capacidad de las operaciones mecanizadas superó las operaciones manuales, sin embargo, debido a los problemas de diseño, el uso de los implementos fue menos eficiente que las operaciones manuales, y que las plantadoras podrían ser rediseñadas para colocar estacas en ángulo y mejorar la alimentación de las estacas a través de una tolva giratoria.

El Instituto indio de investigaciones de la caña de azúcar (IISR, 1993) informa sobre el desarrollo de una nueva plantadora cortadora de caña para aliviar la carga de trabajo. Es una plantadora de dos hileras montada sobre un tractor de 35 HP que está formada de discos abridores de surco, subunidades que ejecutan el corte de los trozos, distribuyen fertilizantes, tapan la semilla y compactan el suelo sobre ellas con unos cilindros opresores. El aparato de corte recibe la caña de cualquier forma o tamaño y los corta en trozos de una longitud de 38 cm. La máquina tiene una capacidad de trabajo de 0.25 ha/h y una eficiencia de campo de un 60%, necesita 6 operarios y un precio aproximado de 3500 dólares.

El atraso en la mecanización de la plantación no se debe solo a la necesidad de buenas máquinas plantadoras, sino también a la respuesta que éstas den en las condiciones socioeconómicas de la agricultura cañera y no cañera cubana. En la actualidad se conoce que, para las condiciones de Cuba, se requiere de la combinación de dos tipos de plantadora: las automáticas para las zonas despobladas y abundante riego y las troceadoras para el resto del país. En los últimos años se ha demostrado que la fertilización incorporada a la plantación es desfavorable económicamente para las plantadoras ya que disminuyen su capacidad en la actividad principal que realizan. La plantadora SIA-3 es una máquina integral de un surco, que utiliza un remolque de gran capacidad para el abastecimiento de las semillas y está compuesta por un chasis rígido con los tres puntos de enganche y dos ruedas de profundidad. Se integran, además, a

este conjunto, la tolva receptora con el conducto de elevación, el punto de enganche trasero y la canal de entrega. Posee un dosificador que garantiza la distribución en el surco, una tolva receptora que le permite acumular reserva. La distribución no depende de la cadencia del auxiliar.

El distribuidor está compuesto por una cadena de rodillos con dedos y uñas, para alinear y empujar los trozos de caña y dejarlos caer por la canal de entrega hasta el fondo del surco. Posee un conjunto picador, moviéndose la caña por un sistema de rodillos de goma, montados en las tamboras giratorias, puede utilizarse para distancias entre hileras de 1.50 y 1.00 m, posee un rendimiento de 0.42 ha/h de tiempo explotativo. Además, posee un gasto directo de explotación de 80.39 \$/ha que representa una reducción de un 44.5 % con respecto a la base. Los gastos transferidos fueron de 83.16 \$/ha, las Inversiones básicas de 22.14 \$/ha y tiene un plazo de recuperación de 0.31 año (Santana, 1998).

Las patentes relacionadas con el tema dirigen su atención al cultivo de la caña de azúcar y cultivos similares y no aparece ninguna registrada específicamente para el cultivo de la yuca. Las variantes constructivas fundamentales que aparecen en estas patentes se caracterizan por ser voluminosas y poseer gran cantidad de mecanismos complejos para el almacenamiento, transporte y acomodamiento de los trozos. La gran capacidad de las tolvas de almacenamiento requiere de la mecanización del proceso de carga.

Además, estas no facilitan la regulación de la distancia entre hileras y entre plantas en una misma hilera en un amplio margen, según los requerimientos de las diferentes variedades y condiciones en que se desarrolla el cultivo de la yuca y no se pueden adaptar a los métodos empleados en la plantación de ésta. También las máquinas plantadoras que se describen en las patentes revisadas, presentan mecanismos de distintos tipos y con grados de complejidad diferentes, que tienen la finalidad de organizar la forma errática en que se reciben los trozos de caña y transportarlos dosificadamente hasta el surco abierto por el surcador. En alguna de ellas existe la necesidad de la intervención del hombre en algunos de los procesos. De las patentes revisadas el número 488674, es la que más se destaca por su ingeniosidad y sencillez, en cuanto a los mecanismos de selección y entrega de los trozos. No obstante, es voluminosa y la distancia entre hileras se limita por las tolvas que presentan las secciones de plantación.

Los trabajos encontrados solo muestran, en la mayor parte de los casos, una descripción estructural muy general de diferentes plantadoras desarrolladas. No se encuentra patentada ninguna plantadora específica para el cultivo de la yuca, lo cual puede indicar que las desarrolladas son soluciones regionales o en el ámbito experimental. Las plantadoras de caña de azúcar que se describen, no satisfacen todos los requerimientos agrotécnicos del cultivo de la yuca. A pesar de existir buenas máquinas plantadoras, tanto para caña y cultivos similares como específicas para el cultivo de la yuca, no se encuentran introducidas en nuestra agricultura.

Algunos autores consideran que lo mismo se debe a que en su diseño, no se tienen en cuenta los aspectos socioeconómicos que prevalecen, también que los órganos fertilizadores unidos a las plantadoras, disminuyen sensiblemente su productividad. Las máquinas que se describen se caracterizan por su complejidad y gran tamaño. Se manifiesta una tendencia a la automatización del proceso de acomodamiento, transporte y selección y entrega de los trozos dentro de las plantadoras. Las grandes tolvas utilizadas requieren de la mecanización del proceso de llenado. De los aspectos anteriores se infiere que, para la construcción y explotación de estas plantadoras, se necesita gran cantidad de recursos y un equipamiento tecnológico adecuado. La existencia del prolongado estancamiento en la introducción de plantadoras para el cultivo de la yuca, demuestra la necesidad de la búsqueda de nuevas vías para continuar mejorando la factibilidad y eficiencia de estas máquinas.

### Conclusiones

La plantadora desarrollada, según la metodología y demás principios expuestos, aumenta la eficacia, viabilidad y eficiencia de la plantación de yuca, acorde a los postulados de desarrollo de la agricultura sostenible a través de una mayor simplicidad, menor peso; menores requerimientos de recursos e infraestructura para su fabricación, mantenimiento y explotación, así como mayores posibilidades y amplitud de las regulaciones tecnológicas para el trabajo en diferentes condiciones fitotécnicas, edafoclimáticas y de variedades del cultivo. La teoría y cálculo de la tolva y el órgano distribuidor elaboradas, se correspondieron con su desempeño funcional y tecnológico.

Los índices de profundidad e irregularidad de plantación, rectilineidad, distancia entre hileras, capacidad de siembra, distancia entre semillas y altura de tapado, se comportaron de forma similar en ambas variantes de utilización de la plantadora y estuvieron dentro de los límites de variabilidad exigidos excepto el tapado. En la velocidad  $V$  (CR) se reportó los mejores resultados del trabajo en todos los índices evaluados. El régimen 'sin tolvas' presentó mejores resultados en el comportamiento de la norma real y en el por ciento de daños mecánico a las estacas.

La productividad de tiempo de turno y por hora de tiempo explotativo, se afectaron principalmente por los tiempos de paradas tecnológicas y para la eliminación de los fallos técnicos en ambas variantes. Los resultados mostraron un comportamiento mucho mejor de la plantadora cuando trabajó sin tolvas que cuando lo hace con ellas en todos los índices evaluados. La máquina en el régimen 'sin tolvas', alcanzó una productividad por hora en el tiempo de turno de 0.38 ha. h-1 y un consumo de combustible de 9.2 kg.ha-1 y 'con tolvas' 0.23 ha. h-1 y 15.2 kg.ha-1 de combustible.

Los mejores resultados económicos los presentó la plantadora sin el uso de tolvas con respecto al uso de ellas, a la labor manual y a la plantadora SIA-3, en todos los indicadores evaluados. Con relación a la labor manual y a la plantadora SIA-3, se produce con el empleo de la plantadora en el régimen 'sin tolvas' una economía anual de los gastos transferidos de 3944.17 pesos y 2008.31 pesos respectivamente. La

máquina con el uso de tolvas, también presentó buenos resultados en este indicador con relación a la labor manual y a la SIA-3.

El grado de reducción de los gastos en ambos regímenes superó el 34 %, el sin tolvas alcanzó el mejor resultado con una reducción del 61.91 %. La reducción de la demanda de fuerza de trabajo por la máquina nueva es altamente significativa, reportándose una reducción del 58.34 y del 75.22 % en los regímenes con y sin tolvas respectivamente.

### Referencias bibliográficas

- Bibliografía Venezolana de yuca (*Manihot esculenta* cranzt, 1993). *Alcance* 42. (pp.16). Facultad de agronomía. UCV, Maracay, Venezuela.
- CIAT (1980). *YUCA: Investigación, producción y utilización. Programa de Yuca.* (pp. 167-197). Referencia de los cursos de capacitación de yuca. PNUD/CIAT, Cáliz, Colombia.
- CIAT (1988). *Yuca: Investigación y producción* (pp. 209-214). Cáliz, Colombia.
- González Marrero, J. A. (1999). *Equipo para plantar yuca y cultivos similares.* Certificado Nro. 22623 de autor de Invención Nro. 98/003. Oficina Cubana de la Propiedad Industrial. C. de La Habana.
- González Marrero, J. y Borrero Rivero, R. (2023). Metodología para el diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola con enfoque sostenible. *Opuntia Brava*, 15(4), 115-129.  
<https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/1970>
- Grace, M. R. (1977). *Elaboración del cultivo de la yuca* (pp. 16). Roma. Italia.
- IISR (1993). Nueva plantadora cortadora de caña de azúcar para aliviar la carga de trabajo. *CERES*, (144), 23-38. <https://www.scielo.br/j/rceres/grid>
- López, M. y Vázquez, E. (1995). *Raíces y Tubérculos.* Segunda edición. Pueblo y Educación.
- Máquina agrícola SANS. (1987). Plantadora de mandioca SANS. *Resumen analítico sobre yuca*, 13(2), 10-11.  
[https://books.google.com/cu/books/about/Res%C3%BAmenes\\_anal%C3%ADticos\\_sobre\\_yuca.html?id=s9BiAAAAMAAJ&hl=es-419](https://books.google.com/cu/books/about/Res%C3%BAmenes_anal%C3%ADticos_sobre_yuca.html?id=s9BiAAAAMAAJ&hl=es-419)
- Martínez, J. (1995). *Búsqueda bibliográfica y de patentes* (pp. 90). IIMA.
- Patente (A. U. Patent) No-. 488674 (1977).
- Reboul, J. L. (1984). Mecanización del cultivo de la yuca. Informe de 2 ensayos sobre el cultivo mecanizado de la yuca en Tahiti. *CIAT Resúmenes analíticos sobre yuca*, 10(3), 20-21.  
[https://books.google.com/cu/books/about/Res%C3%BAmenes\\_anal%C3%ADticos\\_sobre\\_yuca.html?id=s9BiAAAAMAAJ&hl=es-419](https://books.google.com/cu/books/about/Res%C3%BAmenes_anal%C3%ADticos_sobre_yuca.html?id=s9BiAAAAMAAJ&hl=es-419)

- 
- Santana, M. (1998). Nueva plantadora de caña para las condiciones de la agricultura cañera. *Ciencias técnicas agropecuarias*, 7(1), 17-20.  
<https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/issue/archive/5>
- Schulte, E. (1973). *Mecanización of cassava production* (pp. 16-22). Nigeria.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores: Los autores participaron en la búsqueda y análisis de la información para el artículo, así como en su diseño y redacción.