

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

ADOPTION OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS FOR CONSERVATION AGRICULTURE IN RICE CULTIVATION IN CUBA

Calixto Domínguez Vento ^I  <https://orcid.org/0000-0002-2112-5801>

Alexander Miranda Caballero ^{II}  <https://orcid.org/0000-0002-4109-6868>

Augusto Guilherme de Araújo ^{III}  <https://orcid.org/0000-0001-5307-7472>

Guillermo Díaz López ^{IV}  <https://orcid.org/0000-0001-9875-0317>

Amaury Rodríguez-González ^V  <https://orcid.org/0000-0002-1817-1436>

^I Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Pinar del Río, Cuba

^{II} Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba

^{III} Instituto Agronómico de Paraná, Paraná, Brasil

^{IV} Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios, Pinar del Río, Cuba

^V Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba

*Autor para dirigir correspondencia: alex@inca.edu.cu

Clasificación JEL: 01, 02, 03

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5512589>

Recibido: 24/03/2021

Aceptado: 20/05/2021

Resumen

La agricultura cubana para lograr la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, necesita iniciar un proceso de transición hacia prácticas de agricultura de conservación; lo que implica un cambio en los sistemas de producción y las tecnologías que emplean. Se requiere maquinaria específicamente diseñada, capaz

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

de operar en suelo no labrado y con restos de cosechas o plantas de cobertura en distintas formas y situaciones. En este artículo, se presenta una revisión de las principales innovaciones a realizar en la maquinaria agrícola a utilizar en un sistema de agricultura de conservación en agroecosistemas arroceros.

Palabras clave: Ingeniería agrícola, mecanización agrícola, adopción de tecnología, cambio tecnológico

Abstract

Cuban agriculture, to achieve the sustainability of agricultural systems, needs to initiate a transition process towards conservation agriculture practices; which implies a change in production systems and the technologies they use. Specifically designed machinery is required, capable of operating in untilled soil and with crop residues or cover plants in different forms and situations. In this article, a review of the main innovations to be made in agricultural machinery to be used in a conservation agriculture system in rice agroecosystems is presented.

Keywords: Agricultural engineering, agricultural mechanization, technology adoption, technological change

Introducción

En el sector agropecuario cubano, tanto en el modelo agrario convencional como en el actual modelo agrario encaminado hacia la sostenibilidad sobre bases agroecológicas, la gestión de la tecnología y la innovación asume la incorporación de resultados científico técnicos en calidad de componente básico para garantizar la seguridad alimentaria del país y el desarrollo sostenible¹.

Cuba necesita importar más de 400.000 toneladas de arroz al año, por lo que se lleva a cabo un fuerte programa inversionista con el propósito de sustituir las importaciones y garantizar antes de 2030 una producción nacional de al menos el 85 % de las 700.000 toneladas de arroz que consume el país anualmente.²

Sin embargo, los rendimientos que se obtienen como promedio en los últimos 25 años no superan las 3,75 t/ha y predomina el sistema de producción tradicional en la mayoría de las áreas donde se cultiva arroz,³ el cual exige de un alto grado de mecanización (cultivo especializado), condicionado por las diferentes tecnologías de siembra que se utilizan y las extensiones que se destinan para su explotación. Una novedosa experiencia se tiene en la introducción de tecnología de trasplante mecanizado de arroz con trasplantadora autopropulsada para garantizar la producción de semillas de nuevos cultivares de arroz⁴.

Este sistema se caracteriza por el uso de la grada de discos como herramienta fundamental para la labranza en seco y el empleo de ruedas y rodillos fanguadores en el caso de campos inundados, lo que contribuye a la degradación de los suelos e implica un elevado consumo de agua.^{5,6} Además, requiere

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

de mucho tiempo, grandes costos energéticos, económicos y ambientales,^{7,8,9} por lo que preservar la calidad del suelo y aumentar la disponibilidad de agua del suelo es un desafío importante para sustituir las importaciones y garantizar la alimentación de la población cubana.

En virtud de ello, el grado de adopción de las innovaciones promisorias por parte de la matriz institucional, se manifiesta en el desempeño del ciclo de la sostenibilidad alimentaria en Cuba; con especial trascendencia en la sustitución de importaciones, además del aprovechamiento de los recursos naturales y energéticos.^{10,11}

En Cuba, recientemente fue adoptada como política del país una hoja de ruta para la transición hacia prácticas de Agricultura de Conservación (AC)¹², utilizada con buenos resultados en aproximadamente 180 millones de hectáreas en todo el mundo¹³ y reconocida como un sistema de cultivo eficaz para que los productores se adapten a los escenarios futuros de cambio climático.^{14,15} Sin embargo, requiere maquinaria especializada.¹⁶

Aplicando los conceptos de la de la AC al cultivo del arroz, los cambios más marcados resultan de los principios fundamentales de la AC: la labranza cero, que incluye el fangueo cero, la cobertura permanente de la superficie y la rotación de cultivos.¹⁷ En estas condiciones, se utiliza maquinaria convencional, pero adaptada con componentes destinados a la AC o maquinaria específicamente diseñada para la AC, ambas capaces de operar con restos de cosechas o plantas de cobertura en distintas situaciones.

Sin embargo, las decisiones incorrectas tomadas con respecto a la compra de maquinaria agrícola, teniendo en cuenta exclusivamente efectos económicos, pueden tener efectos medioambientales desfavorables.¹⁸ Esto puede provocar un aumento de la contaminación del medio ambiente, un gran consumo de portadores energéticos, degradación del suelo, compactación del suelo, un mayor consumo de fertilizantes y productos fitosanitarios.¹⁹

Como en Cuba, no existe experiencia suficiente de la maquinaria agrícola a utilizar en un sistema de AC y sus requerimientos técnicos, el objetivo de este artículo consiste en recopilar la información que existe sobre la mecanización agrícola para realizar la AC en agroecosistemas arroceros, lo que puede convertirse en buenas prácticas a seguir en el contexto actual.

Desarrollo

La agricultura de conservación representa un cambio en la gestión del suelo, en el diseño y la gestión del sistema de cultivo, que a su vez implican innovaciones en las operaciones de campo requeridas, la combinación de las tecnologías predominantes y los medios mecanizados adecuados²⁰. Como funciones de la gestión tecnológica se encuentran: la identificación, evaluación y selección de la tecnología, la desagregación de paquetes tecnológicos, la negociación de la tecnología, la construcción y puesta en marcha de plantas industriales, el uso y asimilación de la tecnología y la generación y comercialización de nuevas tecnologías y entre estas funciones una adecuada transferencia de tecnología es vital²¹.

El cambio más significativo es en la preparación de suelo y las prácticas de siembra. El uso de la labranza como una operación periódica estándar se elimina completamente en un sistema de AC y se mantiene solo para tareas muy específicas, como descompactar el suelo o nivelar la superficie del campo.²² Se reemplazan herramientas tradicionales de trabajo como el arado, gradas y ruedas fangueadoras, por asperjadoras, cuchillos rotativos y sembradoras directas capaces de cortar rastros y raíces, y remover una línea de siembra para dejar la semilla adecuadamente ubicada en el suelo. También significa una gestión eficaz del cambio tecnológico²³.

Cambios en la mecanización y las operaciones de campo

Luego de introducidos los principios básicos de la AC, no se realiza más preparación del suelo y antes de la siembra habitualmente se hace el manejo de las coberturas vegetales por método químico, mecánico o una combinación de ambos. El manejo químico emplea la pulverización (aplicación de herbicida) para el control de la flora adventicia y la siega química de las cubiertas vivas, y el mecánico utiliza equipos de corte con cuchillas (segadoras, cortadoras o rollo cuchillo) para aplastamiento y corte parcial o total del material vegetal.²⁴

Los diques (taipas) son conservados de años anteriores y, eventualmente, reparados algunos de ellos si fuera necesario. A diferencia de los diques tradicionales, estos deben construirse más anchos, más bajos y con una sección más suave, para facilitar el tránsito por ellos, tanto para la siembra como para la cosecha. Ocasionalmente, también puede ser necesario rectificar la nivelación, realizar una subsolación o labor de escarificado.²⁶

Manejo de la cobertura y gestión del suelo

La retención de residuos de cultivos es uno de los tres componentes clave de la AC, ya que brinda protección al suelo, conservación del agua y contribuye al mantenimiento de la materia orgánica y la salud del suelo. Sin embargo, debe manejarse de forma adecuada para lograr una siembra eficaz y controlar las plagas y tiene varias implicaciones para la elección de la maquinaria.²¹

El manejo de residuos comienza en la cosecha y continúa hasta la siembra del cultivo siguiente. La forma óptima de gestionar los residuos de cultivos variará de una región a otra y se requiere un enfoque de sistemas que tenga en cuenta la rotación de cultivos, el estado de los residuos (por ejemplo, tipo, edad, seco o húmedo), cantidades de residuos, riesgo de enfermedades, los posibles efectos alelopáticos, espectro de malezas / herbicidas y maquinaria disponible.²¹

Maquinaria para el manejo mecánico de la cobertura

El método de manejo de la cobertura del suelo depende del tipo de material vegetal utilizado y ha de ir encaminado a lograr la máxima persistencia temporal del resto vegetal en la superficie del suelo. Además, cuando se emplea el riego superficial en terraza como es el caso del arroz, hay que evitar, que

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

los rastros se desplacen con el flujo de agua o que lo obstruyan. Para esto, es aconsejable dejar los rastros en trozos grandes y evitar un corte muy pegado al suelo.¹⁷

El manejo de los residuos de cultivos dentro del sistema agrícola tiene tres etapas fundamentales: (1) cosecha, (2) poscosecha y (3) siembra. Cada etapa se puede gestionar de forma aislada, aunque, para obtener los máximos beneficios, se requiere un enfoque integrado desde la cosecha hasta la siembra del cultivo.²⁵

1. Manejo de cosecha

En el caso de residuos de cultivos productores de granos, el manejo de los restos culturales comienza en el momento de la cosecha, cortando a la altura adecuada y esparciendo los residuos lo más uniformemente posible en el área cosechada.²⁵⁻²⁷

A medida que los frentes de corte de las cosechadoras se ensanchan, resulta más difícil lograr una distribución uniforme de los residuos. Igualmente, cuando se reduce la altura de corte a menos de 20 cm, pasa más material por la cosechadora que es necesario esparcir, con lo que aumentan los costos de cosecha y se disminuye la uniformidad de la distribución del residuo, lo que a su vez puede crear problemas en la siembra.²⁵

Los frentes “stripper” son cada vez más populares en países como Australia, vinculados a un enfoque reciente que consiste en cortar el residuo relativamente alto (30 cm) para aumentar la cantidad de rastrojo anclado, reduciendo así la cantidad de residuo sueltos que se encuentra en el suelo, y luego realizar una siembra de alta precisión guiada por GPS para colocar la nueva hilera de cultivo entre las hileras de residuos anteriores.^{25,28}

Por otro lado, el manejo de los residuos está condicionado por la sembradora que se vaya a utilizar. Para sembradoras de rejas resulta aconsejable picar los residuos lo máximo posible y esparcir lo más uniforme posible por todo el ancho de la cosechadora. En caso de sembradoras de discos dobles, es más apropiado proceder sólo al esparcido, sin realizar un picado previo.^{29,30}

Para lograr una distribución uniforme de los residuos sobre todo el campo, pueden colocarse en la cosechadora distribuidores de paja que no trituran el material o un aditamento que pique y distribuya adecuadamente la paja picada.^{30,31,32} Se recomienda emplear cosechadoras con esparcidores centrífugos de caucho o metálicos.^{26,27}

No obstante, varios diseños de esparcidores están disponibles comercialmente con tecnologías mejoradas, incluido el picador / soplador de máxima velocidad del aire, el esparcidor de disco de paleta única ajustable y la plataforma trasera de fundición eléctrica detrás del picador.²⁵

2. *Manejo poscosecha*

La estrategia de manejo de residuos poscosecha depende de la cantidad de residuos que quedan en el campo y la cantidad de residuos que la maquinaria de siembra puede manejar.

Si la máquina cosechadora no cuenta con elementos para picar y esparcir los residuos, se debe utilizar un triturador de residuos, que puede montarse en el enganche de tres puntos del tractor y es accionado por la toma de fuerza,²⁷ tales como, las segadoras y cortadoras. Estos equipos tienen ejes horizontales o verticales rotativos accionados por la toma de fuerza y en el que se fijan cuchillos de diferentes tipos para cortar la vegetación. Existen varios modelos de segadoras y cortadoras con cuchillas basculantes (balancín), doble hoja, tambor con discos, barras de corte y otras.

Otra alternativa, muy usada en regiones arroceras de Argentina y Brasil es el cuchillo rotativo “rodillo de cuchillas o rolo cuchilla”,^{25,26} que representa una herramienta útil para el manejo de los residuos cuando se busca una baja tasa de descomposición y mayor persistencia de la cobertura del suelo, además de una cobertura uniforme del suelo.^{33,34}

En cultivos de cobertura muy densos que son asperjados con herbicida antes del tratamiento mecánico, el dosel foliar principal puede impedir que el producto llegue a las malezas que crecen debajo. Como alternativa el cultivo de cobertura puede ser tratado con un rolo cuchillas y entonces asperjado, siempre que se proporcione suficiente tiempo a las malezas para aparecer a través del dosel foliar doblado a fin de asperjarlas debidamente. Esta opción es adecuada para los cultivos de cobertura densos, pero se debe tener en cuenta que el asperjado es más efectivo cuando el cultivo de cobertura no es denso. Si el cultivo de cobertura es denso y la incidencia de las malezas es baja, un rodillo de cuchillos puede ser suficiente para preparar el campo.³⁰

3. *Gestión de la siembra*

La eficiencia de la siembra está relacionada con el tipo de residuos y abridores de surcos de la sembradora. Estudios realizados señalan que una cantidad de rastrojo de arroz superior a 6000 kg ha⁻¹ al momento de la siembra, afecta la calidad de la labor y el posterior establecimiento del cultivo.³⁵ En suelos de hidromórficos en Brasil, indican que la cantidad óptima de cobertura para la siembra directa en el cultivo del arroz de riego se sitúa entre 2 a 3 t/ha.³⁶

Los residuos en pie, anclados en el suelo, o al menos un rastrojo alto pueden facilitar la siembra, particularmente en situaciones de residuos altos o difíciles, como en el caso del arroz de alto rendimiento.²²

Para realizar siembra directa en la agricultura de conservación basada en la movilización reducida del suelo, el equipo para sembrar debe poder depositar la semilla a la profundidad y densidad de siembra deseadas, en el suelo no cultivado que, idealmente, está cubierto con una gran cobertura de residuos de cultivos.^{22,31}

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

Por esta razón, la máquina de siembra directa tiene que ser lo suficientemente robusta como para resistir las mayores fuerzas del suelo y más pesado que una sembradora convencional, particularmente cuando se usan abridores de surcos de tipo disco como los recomendados en el cultivo del arroz. Además, el equipo debe tener abridores de surcos especialmente diseñados que puedan penetrar la capa de residuos sin amontonarlos o empujarlos hacia el suelo, y posibilitar regular la dosificación y espaciado de semillas de distinto tamaño, asegurar un adecuado recubrimiento de las semillas y admitir elementos de abonado y tratamientos.^{22, 31,37}

Comúnmente las principales funciones que debe realizar una sembradora directa son: manejo de residuos en la línea de siembra, apertura del surco, distribución de semillas y fertilizantes, cubrimiento y compactación del surco.³⁸ Aunque, actualmente con el uso de tecnologías GPS pueden realizar control de sección automática y funciones adicionales, tales como: prensado de semillas, incorporación de herbicidas preemergentes, colocación en hileras de enmiendas y pesticidas para manejo de plagas y enfermedades en la siembra, pudiendo dosificar hasta siete productos granulados o líquidos.³⁴

También, existen nuevos sensores colocados en el tren de siembra de las máquinas que relevan información sobre materia orgánica, limpieza del surco, cámara de aire, temperatura, humedad del suelo y capacidad de intercambio catiónico.³⁴

Igualmente, innovaciones recientes en las máquinas cosechadoras pueden brindar la posibilidad de sembrar junto con la cosecha del cultivo anterior. Esto se logra mediante cosechadoras combinadas equipadas para una distribución esparcida de la semilla inmediatamente después de la barra de corte y, por tanto, antes de que la paja caiga al suelo.¹² Sin embargo, en la práctica, resulta complejo.

Equipos para manejo químico de la cobertura

El control de la flora adventicia y la siega química de las cubiertas vegetales vivas se realiza con herbicidas sistémicos de acción total como el paraquat, glufosinato de amonio y glifosato, entre los más usados en el cultivo del arroz.³⁸ Para su aplicación se utilizan barras de tratamientos o de aplicación de fitosanitarios, que pueden ser autopropulsadas, acopladas al tractor o a un equipo aéreo.

La eficiencia de los equipos autopropulsados y acoplados al tractor depende básicamente del tamaño del tanque, del tipo de bomba y de la tasa de aplicación de la mezcla, y a su vez, la tasa de aplicación de la mezcla depende del tipo de boquilla, presión de trabajo y de la velocidad de operación. No obstante, estos equipos son adecuados para extensiones medianas y son más baratos que la aplicación aérea. Además, el costo de operación y mantenimiento también es menor.²⁹

En la actualidad, se ha incrementado el uso de pulverizadoras autopropulsadas con un desarrollo tecnológico avanzado, las cuales pueden estar equipadas con piloto automático y aplicación con cortes por sección de la barra de pulverización, lo que evita la sobreaplicación de insumos en el lote. Sin embargo, el costo significativamente más alto de las unidades autopropulsadas limita su adopción en áreas de pequeña y mediana extensión.²⁹

Control de malezas

La disponibilidad de herbicidas no selectivos como paraquat y glifosato, permitió un control eficaz de las malezas antes de la siembra.³⁹ Sin embargo, las poblaciones de malezas resistentes a los herbicidas han evolucionado en todas las regiones de cultivo del mundo,⁴⁰ por lo que la labranza estratégica ha recibido gran atención entre los investigadores y agricultores de varios países. En este sentido, una labranza profunda utilizada ocasionalmente, una vez cada 5-10 años, al campo completo o dirigida a rodales de malezas puede reducir la emergencia de plántulas de malezas y conservar los efectos positivos de los sistemas de cero labranzas en la condición del suelo.⁴¹

Igualmente, se han obtenido buenos resultados, combinando la labranza estratégica con prácticas agronómicas como la rotación de cultivos con inclusión de especies seleccionadas para reducir la población de malezas resistentes, tasas de siembra más altas y alteración de la orientación de las hileras para mejorar la competencia de los cultivos con las malezas y reducir la formación de semillas de malezas.^{42,43}

Las opciones futuras pueden incluir el uso de tecnología robótica para aumentar el control de malezas.⁴³ Ya están disponibles máquinas robóticas comerciales que utilizan GPS cinemático en tiempo real para el control de malezas, combinando métodos mecánicos y químicos. Mecánicos basados en un robot con un brazo que elimina físicamente la maleza y químicos con dosis bajas de herbicida aplicadas directamente a la planta de malezas. También se están considerando otras opciones como rayos infrarrojos y láser.¹⁶

Los tractores

En general, los tractores se han vuelto más potentes para su peso y tamaño, más eficientes energéticamente, lo que les permite funcionar más tiempo con un tanque de combustible determinado, a la vez que son menos ruidosos y son más limpios para el medio ambiente. También se han vuelto mecánicamente más fiables,²⁹ aunque en países poco desarrollados como Cuba, obligados a comprar tecnologías más baratas, los equipos son menos fiables y duraderos.

Mundialmente se ha prestado mayor atención a la reducción de la compactación de los tractores en los campos,⁴³ por lo que, en los sistemas de AC, los aspectos críticos de un tractor son su rendimiento de tracción y la presión sobre el suelo. En estos sistemas donde la labranza a menudo no es una opción aceptable para descompactar el suelo, se recomienda usar prácticas de balanceo del tractor y neumáticos de alta flotación.⁴⁴ Por lo general, la cantidad de neumáticos por eje se puede aumentar y al mismo tiempo reducir su presión de inflado, lo que aumenta el apoyo del tractor y mejora la tracción, haciéndolo más liviano.^{29, 44}

Por otro lado, los tamaños de las bases de las ruedas se han ampliado y el uso de máquinas de orugas y tranvías de tráfico controlado, ha contribuido a concentrar la compactación del suelo en un área más pequeña del campo.⁴³ Además, han aumentado las velocidades de desplazamiento, acompañado de

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

mejoras en la suspensión y los frenos, lo que permite alcanzar mayor productividad de actividades como la pulverización y la aplicación de fertilizantes.²⁹

La introducción de GPS vinculado con Sistemas de Información Geográfica (GIS) ha habilitado capacidades tales como dirección automática, agricultura de precisión y tecnología de tasa variable. El uso de sistemas de navegación cinética en tiempo real (RTK) con un nivel de precisión de 2 cm ha dado a los productores la capacidad de recopilar y utilizar más información sobre sus campos y el rendimiento de sus cultivos. Estos sistemas han permitido incrementar las horas de trabajo de los operadores y el tiempo de turno, así como las condiciones en las que se pueden operar los tractores; por ejemplo, en condiciones de poca visibilidad como de noche o con niebla.⁴³

Aunque, en el sector agrícola, actualmente no existe un sustituto rentable para la energía diésel que permita que la agricultura produzca más con menos insumos de energía. Están disponibles comercialmente en el mercado tractores que utilizan motores industriales que funcionan con metano o biogás, que es más económico cuando se puede producir en la granja o finca.⁴⁵

Desde 2016 se han presentado prototipos de tractores eléctricos de hasta 400 Hp con baterías de alto rendimiento y autonomía de hasta 4 horas, dependiendo de las operaciones realizadas. Además, poseen la capacidad de recarga desde la fuente de energía de restauración.²⁹ Sin embargo, las baterías eléctricas en términos de potencia y peso, presentan limitaciones que complejizan su uso en tractores para la labranza o la preparación del suelo.¹⁷ En la práctica, el sector agrícola no está preparado para esta tecnología y por el momento parece una alternativa más apropiada para tractores pequeños comúnmente usados en la agricultura a pequeña escala o tractores ligeros.

Como una respuesta integral al futuro de la agricultura se desarrolla el sistema de tractor e implemento totalmente autónomos, dependiendo del control remoto del operador para intercambiar implementos e información de posición GPS RTK para seguir los planes de ruta establecidos por los agricultores para las operaciones de campo.^{16,29}

Conclusiones

A pesar de que las tecnologías mecanizadas normalmente tienen que adaptarse a cada entorno de producción específico, los mayores cambios en la maquinaria agrícola al transitar de un sistema de labranza tradicional a un sistema de AC están en la preparación de suelo y las prácticas de siembra.

Las experiencias obtenidas a nivel mundial sobre la adopción y difusión de la AC, indican la posibilidad de adecuar algunas máquinas concebidas como un primer paso a seguir en Cuba para la transición a una agricultura de conservación basada en cero labranzas en agroecosistemas arroceros.

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

Referencias bibliográficas

1. González D. Propuesta de un modelo para la adopción de innovaciones tecnológicas en la producción local de arroz (*Oryza sativa* L.). Estudio de caso: municipio Madruga, Mayabeque, Cuba [tesis doctoral]. San José de las Lajas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2020.
2. Reyes D. Del arroz en barco al arroz que cultivamos. Granma, Órgano Oficial del Comité Central del Partido Comunista de Cuba. Publicado el 10 de enero de 2019. ISBN: 0864-0424. [Consultado 20 febrero 2021] Disponible en: <http://www.granma.cu/cuba/2019-01-10/del-arroz-en-barco-al-arroz-que-cultivamos-10-01-2019-19-01-56>.
3. ONEI. Oficina Nacional de Estadística e Información. Anuario Estadístico de Cuba 2018. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca; 2019. [Consultado 20 febrero 2021] Disponible en: <http://www.one.cu/aec2019>.
4. Miranda A. Impacto de la tecnología de trasplante mecanizado de arroz. Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial. septiembre-diciembre 2020; IV(3): 334-349 [Consultado 20 febrero 2021] Disponible en: <https://apye.esceg.cu/index.php/apye/article/view/143>
5. Ruiz M, Muñoz Y, Dell A y Polón R. Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial. *Cultivos Tropicales*. 2016; 37 (3): 178-186. ISSN: 1819-4087.
6. González MC, López DGA, Hernández CS. El abono verde una vía a la sostenibilidad de la producción arrocera. *Avances*. 2014; 16 (2): 134-143. ISSN: 1562-3297.
7. Paneque P, Fernandes HC, Miranda A, Morejón Y, Gómez MV. Current Situation of Agricultural Mechanization and Conservation Agriculture in Latin America. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 2019; 50 (2). [Consultado 2 febrero 2021] Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193371857>.
8. Miranda A, Paneque P, Abraham N, Suárez M. Análisis comparativo de los costos totales energéticos, de explotación y consumo de combustible del cultivo del arroz en las tecnologías en seco y fanguero directo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [Internet]. 2009;18(3):70-75. [Consultado 2 febrero 2021] Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215944013>
9. Paneque P, Miranda A, Abraham N, Suárez M. Determinación de los costos energéticos y de explotación del sistema de cultivo del arroz en seco. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2009; 18 (1):7-10. [consultado 20 enero 2020] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215240002>.
10. González D, Marrero P, Galván JM, Monteagudo JA, Hernández A, González R. et al. Gestión tecnológica con enfoque agroecológico y participativo para el cultivo del arroz a escala local. Parte II: Implementación de la Estrategia y Plan de Acción en el municipio Madruga. Centro Agrícola. 2015; 42 (2): 55-63. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000300007.
11. García ME, Tejeda G, Hernández A. Introducción. Estudio de los factores críticos que inciden en el ciclo de la sostenibilidad alimentaria en Cuba. [en línea]. Playa, La Habana. Cuba: Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical (IIFT); 2015, pp. 13-15. [Consultado 1 marzo 2021] Disponible en: <https://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/Desarrollohumano/Palma-Agrocadenas/Factores Críticos-Libro.pdf>.
12. MINAG. Ministerio de la Agricultura, Departamento de Suelos y Fertilizantes. “Hoja de Ruta” para el Desarrollo y Adopción de la Agricultura de Conservación en Cuba. Resumen Ejecutivo. Resultado de la consulta de expertos internacionales sobre Agricultura de Conservación para el

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

- Desarrollo Sostenible, Producir más con menos insumos, 17-21 octubre 2016, La Habana, Cuba. 6 p. 2016.
13. Kassam A, Friedrich T, Derpsch R. Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*. ISSN: 1029-0400 (Online), 2018. [consultado 5 enero 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>.
 14. Simpfendorfer S, Mckay A, Ophel-Keller. New approaches to crop disease management in conservation agricultura. In (Eds J Pratley and J Kirkegaard) “Australian Agriculture in 2020: From Conservation to Automation”, (Agronomy Australia and Charles Sturt University: Wagga Wagga); 2019, pp 173-188. [Consultado 1 marzo 2021] Disponible en: <http://www.csu.edu.au/research/grahamcentre>
 15. Failla S, Pirchio N, Sportelli M, Frascioni C, Fontanelli M, Raffaelli M, Peruzzi A. Evolution of Smart Strategies and Machines Used for Conservative Management of Herbaceous and Horticultural Crops in the Mediterranean Basin: A Review. *Agronomy*. 2021; 11, 106. [Consultado 12 febrero 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy11010106>.
 16. Santos S, Kienzle J. Agriculture 4.0 – Agricultural robotics and automated equipment for sustainable crop production. *Integrated Crop Management*. Rome, FAO, 2020; Vol. 24. [Consultado 12 febrero 2021] Disponible en: <http://www.fao.org/3/cb2186en/CB2186EN.pdf>.
 17. Friedrich T, Kienzle J, Kassam A. Conservation Agriculture in Developing Countries: The Role of Mechanization. *Research Gate*, FAO, Rome, Italy; 2014. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/260387802>.
 18. Zhang F, Teng G, Yuan Y, Wang K, Fan T, Zhang Y. Suitability selection of emergency scheduling and allocating algorithm of agricultural machinery. *Soc. of Agric. Eng.* 34, 47–53. 2018.
 19. Yezekyan T, Marinello F, Armentano G, Sartori L. Analysis of cost and performances of agricultural machinery: Reference model for sprayers. *Agron. Res.* 2018, 16, 604–614.
 20. Delgado M, Castro F. Enfoques integrados de la gestión en la innovación tecnológica. *Ingeniería Industrial* 2001; XXII (4): 29-37 [Consultado 13 enero 2021] Disponible en: <https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/214/199>
 21. Delgado M. Innovación Empresarial. En: Delgado M, Coordinador académico. *Temas de Gestión Empresarial*. Vol. II. La Habana: Editorial Universitaria Félix Varela; 2017. p. 117.
 22. Friedrich T, Kienzle J, & Kassam A. Conservation Agriculture in Developing Countries: The Role of Mechanization. *Research Gate*, FAO, Rome, Italy. 2014. [Consultado 30 noviembre 2020] Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/260387802>
 23. Domínguez C, Díaz G, Miranda A, Duarte C, Ruiz M, Martín R. Implementación de los principios básicos de la agricultura de conservación en un agroecosistemas arrocero del municipio Los Palacios. In: XII Convención Internacional Sobre Medio Ambiente y Desarrollo. La Habana, Cuba. 2019. ISBN978-959-300-145-8.
 24. Domínguez C, Díaz G, Miranda A, Duarte C, Rodríguez A, Araújo AG. Agricultura de Conservación: consideraciones para su adopción en agroecosistemas arroceros de Pinar del Río. *Revista Ingeniería Agrícola*, [S.l.], mar. 2019; 9 (2). [Consultado 25 enero 2021] Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1103>.
 25. Flower K, Dang Y, Ward P. Advances in crop residue management. In (Eds J Pratley and J Kirkegaard) “Australian Agriculture in 2020: From Conservation to Automation” (Agronomy Australia and Charles Sturt University: Wagga Wagga). 2019; pp 137-149 [Consultado 12 febrero 2021] Disponible en: <http://www.csu.edu.au/research/grahamcentre>.
-

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

26. Hidalgo JR, Botta FG, Tolón BA, Pozzolo RO, Domínguez FJ, Serafini E. Rastrojo de arroz (*Oryza sativa* L.) en sistemas de siembra directa: alternativas de manejo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 2014; 46 (2): 163-175. [Consultado 15 febrero 2021] Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1103>.
27. Botta GF, Tolón BA, Lastra BX, Hidalgo R, Rivero D, Agnes D. “Alternatives for handling rice (*Oryza sativa* L.) straw to favor its decomposition in direct sowing systems and their incidence on soil compaction”, *Geoderma*. 2015; 239: 213-222. ISSN: 0016-7061.
28. Paredes M, Becerra V. Producción de arroz: Buenas prácticas agrícolas (BPA) [en línea]. Chillán: Boletín INIA- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. No. 306; 2015. [Consultado 15 febrero 2021] Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7815>. 2015.
29. Desbiolles J, Saunders C, Barr J, Riethmuller G, Northover G, Tullberg J, Antille D. Machinery evolution for conservation agriculture. In (Eds J Pratley and J Kirkegaard) “Australian Agriculture in 2020: From Conservation to Automation” (Agronomy Australia and Charles Sturt University: Wagga Wagga); 2019, pp 81-106 [Consultado 15 enero 2021] Disponible en: <http://www.csu.edu.au/research/grahamcentre>.
30. Baker CJ, Saxton KE, Ritchie WR, Chamen WCT, Reicosky DC, Ribeiro MFS, et al. Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Editorial Acirbia, S.A. Zaragoza (España), 381 p. 2008. ISBN: 978-92-5-305389-6. [Consultado 20 diciembre 2020] Disponible en: www.editorialacirbia.com. 2008.
31. Gil JA y Veroz O. Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación. Fondo Editorial del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA). 2009. 52 p. ISBN: 978-84-96680-44-9. [Consultado 20 diciembre 2020] Disponible en: www.idae.es.
32. Hube S, Alfaro M, Ramírez L, Donoso G, Paredes M. Contribución del cultivo de arroz al cambio climático (100 p.). En: Paredes M, Becerra V, (eds.). Manual de producción de Arroz: Buenas prácticas Agrícolas. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 306. 100 p. 2015. ISSN 0717-4829. [Consultado 10 enero 2021] Disponible en: www.chilearroz.cl
33. Araujo AG, Rodríguez BN. Manejo mecânico e químico da aveia preta e sua influência sobre a taxa de decomposição e o controle de plantas daninhas em semeadura direta de milho. *Planta Daninha*. 2000.18 (1).
34. Araújo AG, Casão RJR and Figueiredo PRA. Recomendações para dimensionamento e construção do rolo-faca. In: Encontro Latinoamericano sobre Plantio Directo na Pequena Propriedade. Ponta Grossa, Brasil. Instituto Agronômico do Paraná. p 271-280. 1993.
35. Hidalgo R, Pozzolo O. Cosecha. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes, Inst. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Convenio Asociación Correntina de Plantadores de Arroz (ACPA), Argentina, 65-71 p. 2007.
36. Da Silva A, Pereira M, Barbat JM, Souza CA, De Souza RO, Pauletto EA. Rotação de Culturas em Áreas de Várzea e Plantio Direto de Arroz. *Embrapa Clima Temperado*, 65 p. 2002. ISSN 1516-8840.
37. Ashworth M, Desbiolles J and Tola EK. Disc Seeding in Zero-till Farming Systems – A Review of Technology and Paddock Issues. Western Australian No-Tillage Farmers’ Association (WANTFA), Northam, Australia. 2010.
38. Franques JM. El nuevo sistema de siembra en seco del arroz. Primera edición. España: Comunitat de Regants – Sindicat Agrícola de l’Ebre; 2018. 58 p. ISBN: 978-84-697-5393-4.
39. Matthews GA. “A history of pesticides” (CABI: Boston, USA). 2018.

ADOPCIÓN DE INNOVACIONES TECNOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN CUBA

40. Heap I. International survey of herbicide resistant weeds; 2019. [Consultado 3 febrero 2021] Disponible en: <http://weedscience.org/graphs/soagraph.aspx>.
41. Dang YP, Moody PW, Bell MJ et al. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment Soil and Tillage Research. 2015; 152, 115-123. ISSN: 0167-1987.
42. Dang YP, Balzer A, Crawford M et al. Strategic tillage in conservation agricultural systems of northeastern Australia: why, where, when and how? Environmental Science and Pollution Research. 2018; 25, 1000- 1015.
43. Serafin L, Dang Y, Freebairn D, Rodriguez D. Evolution of conservation agriculture in summer rainfall areas. In (Eds J Pratley and J Kirkegaard) "Australian Agriculture in 2020: From Conservation to Automation" (Agronomy Australia and Charles Sturt University: Wagga Wagga); 2019. pp 65-78 [Consultado 3 febrero 2021] Disponible en: <http://www.csu.edu.au/research/grahamcentre>.
44. Gómez N, Villagra K, Solorzano M. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). Revista Tecnología en Marcha. Jan./Mar. 2018; 31 (1). [Consultado 25 enero 2021] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.35>
45. New Holland Agriculture. New Holland T6 methane power tractor prototype makes a statement at SIMA 2017. [Consultado 28 diciembre 2019] Disponible en: www.agriculture.newholland.com/eu/en-uk/about-us/whats-on/news-events/2017/t6-methanepower

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

Contribuciones de los autores

- Calixto Domínguez Vento: Conceptualización, investigación, metodología, redacción del borrador, validación, visualización, redacción, revisión y edición del trabajo final.
- Alexander Miranda Caballero: Conceptualización, análisis formal, metodología, supervisión, redacción, revisión y edición del trabajo final.
- Augusto Guilherme de Araújo: Metodología, supervisión, visualización, redacción, revisión.
- Guillermo Díaz López: Investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador.
- Amaury Rodríguez Gonzáles: Recursos, administración del proyecto.