

Enfoques para la gestión y uso eficiente del agua en el cultivo de arroz

Approaches to Efficient Water Management and Use in Rice Cultivation

 Calixto Domínguez-Vento^{i*},  Enrique Cisneros-Zayasⁱ,  Julián Herrera-Pueblaⁱ,  Michel Ruiz-Sánchezⁱⁱ,
 Alexander Miranda-Caballeroⁱⁱⁱ,  Pedro Paneque-Rondón^{iv} and  Rafael Amado Martín-Fernándezⁱ

ⁱInstituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAGRIC), Boyeros, La Habana, Cuba.

ⁱⁱUnidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios (UCTB-LP), Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

ⁱⁱⁱInstituto de Investigaciones de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{iv}Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

*Autor para correspondencia: Calixto Domínguez-Vento, e-mail: calixtodominguez1986@gmail.com

RESUMEN: En el contexto actual de cambio e inestabilidad climática donde la disponibilidad de agua se reduce con el paso de los años, el sector arrocerero enfrenta el desafío de hacer un uso racional del agua, a la vez que necesita mitigar los efectos de la producción arrocerera ante un clima cambiante. En este sentido, son de particular interés métodos de riego que ahorren agua y prácticas agrícolas climáticamente inteligentes como la agricultura de conservación que ha comenzado a ganar aceptación en el cultivo de arroz. El presente trabajo tiene como objetivo revisar los principales enfoques para la gestión y uso eficiente del agua en el cultivo de arroz, informados en la literatura científica especializada.

Palabras clave: agricultura, agua, sostenibilidad, cambio climático, manejo del riego.

ABSTRACT: In the current context of climate change and instability where the availability of water is reduced over the years, the rice sector faces the challenge of making rational use of water, while at the same time needing to mitigate the effects of rice production in the face of a changing climate. Of particular interest in this regard are water-saving irrigation methods and climate-smart agricultural practices such as conservation agriculture that has begun to gain acceptance in rice cultivation. The objective of this work is to review the main approaches for the management and efficient use of water in rice cultivation, reported in the specialized scientific literature.

Keywords: Agriculture, Water, Sustainability, Climate Change, Irrigation Management.

INTRODUCCIÓN

El arroz es el alimento básico del 75 % de la población mundial y uno de los cultivos más importantes en el mundo (Vijayakumar *et al.*, 2022a; Gharsallah *et al.*, 2023). Pero en la mayoría de los países el arroz se cultiva en condiciones de inundación, lo que implica la utilización de grandes volúmenes de agua y la emisión de gases de efecto invernadero (Gharsallah *et al.*, 2023; Meriguetti *et al.*, 2023). Se estima que el cultivo de arroz consume el 43% del agua de riego utilizada mundialmente (Majumdar *et al.*, 2023). Sin embargo, la creciente escasez de agua en los países productores de arroz constituye un motivo de preocupación y amenaza la sostenibilidad de la producción arrocerera en condiciones de riego Shukla *et al.* (2021), por lo que, en las últimas décadas, los investigadores se han enfocado en la búsqueda

de nuevos métodos de riego que ahorren agua sin afectar significativamente la producción arrocerera.

En Cuba, el cultivo del arroz históricamente ha dependido del método de riego por inundación (que consume grandes volúmenes de agua), lo que lo convierte en el mayor consumidor de agua en el sector agrícola. Además, ha establecido una fuerte dependencia de la inundación como método para el control de malezas. Pero las condiciones actuales de cambio climático, la degradación de los suelos expresada en bajos contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, el cambio de los patrones climáticos (precipitaciones intensas en algunos periodos y sequías prolongadas), y la escasez de recursos, obligan a los agricultores a implementar métodos de cultivo rentables que contribuyan a la mejora y conservación de suelos y a la vez ahorren agua.

Recibido: 05/07/2024

Aceptado: 05/12/2024

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: **Conceptualization:** C. Domínguez. **Data curation:** C. Domínguez. **Formal analysis:** C. Domínguez. **Investigation:** C. Domínguez, E. Cisneros, J. Herrera, M. Ruiz, A. Miranda, P. Paneque, R. Martín. **Methodology:** C. Domínguez. **Supervision:** C. Domínguez, Domínguez, E. Cisneros, J. Herrera, M. Ruiz, A. Miranda, P. Paneque, R. Martín, R. Martín. **Validation:** C. Domínguez, Domínguez, E. Cisneros, J. Herrera, M. Ruiz, A. Miranda, P. Paneque. **Writing-original draft:** C. Domínguez. Domínguez, E. Cisneros, J. Herrera, M. Ruiz, A. Miranda, P. Paneque. **Writing-review & editing:** C. Domínguez, E. Cisneros, J. Herrera, P. Paneque.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



En respuesta a estos desafíos, internacionalmente se han implementado varios sistemas de cultivo en los que no se inundan los campos y se emplea menos agua de riego, a la vez que disminuyen los efectos negativos de la producción arroceras en el cambio climático (Mallareddy et al., 2023). Por ejemplo, el riego alternando períodos de inundación y secado Gharsallah et al. (2023) y el cultivo sin labranza aplicando principio de AC Gangopadhyay et al. (2023), entre otros. Sin embargo, cada método tiene sus particularidades, que pueden constituir ventajas o desventajas en función de las condiciones locales de producción, la disponibilidad de mano de obra y factores como el tipo de suelo, características de los campos (topografía o nivelación) y dimensiones de las fincas. El presente trabajo tiene como objetivo revisar los principales enfoques para la gestión y uso eficiente del agua en el cultivo de arroz, informados en la literatura científica especializada.

DESARROLLO DEL TEMA

El cultivo de arroz enfrenta actualmente problemas como la escasez de agua y la degradación de la salud del suelo (Arouna et al., 2023; Mallareddy et al., 2023). Factores asociados al método tradicional de inundar continuamente los campos durante todo el ciclo del cultivo, siendo la estrategia de riego más practicada en todo el mundo para la producción de arroz (Luo et al., 2022; Meriguetti et al., 2023). Así como, la labranza tradicional basada en el uso de implementos que rompen y descomponen la estructura del suelo, particularmente con suelos húmedos (Domínguez et al., 2024). En este contexto, la aplicación de nuevos enfoques de cultivo en los que no se inundan los campos de forma permanente y el mínimo disturbio del suelo como parte de la AC, surgen como un paso importante para el uso eficiente del agua, la conservación del suelo y el medio ambiente.

La demanda de agua de riego en el cultivo de arroz está influenciada, entre otros factores, por las prácticas de gestión del riego como: los métodos de riego, regímenes de riego, programación del riego, tecnologías de riego, etc.), y prácticas agronómicas como la preparación del suelo y patrones de esquemas de riego (Arouna et al., 2023). Por lo tanto, la demanda de agua de riego se puede reducir mediante la adopción de métodos de riego que ahorran agua y la implementación de prácticas agronómicas que contribuyan al uso eficiente del agua como puede ser la AC. En este sentido, Arouna et al. (2023) plantean que las tecnologías de ahorro del agua para el cultivo del arroz pueden clasificarse en tres grupos: sistemas de riego que ahorran agua, métodos de riego que ahorran agua y prácticas agronómicas que ahorran agua.

Métodos de riego que ahorran agua en la producción de arroz

El método de riego superficial es el más utilizados en el mundo (Mubangizi et al., 2023; Meriguetti et al., 2023). En este método el riego superficial, incluye el riego por cuenca,

el riego por bordes y el riego por surcos, se caracteriza por un riego ineficiente que provoca pérdidas de agua. El riego por aspersión y el riego por goteo son una mejor alternativa que el riego superficial por inundación para lograr ahorrar agua de riego e incrementar la productividad agronómica del agua, incluso con un rendimiento agrícola mayor (Merza et al., 2023; Saikumar et al., 2023).

Modernización del riego superficial

En Cuba, donde los sistemas de riego del cultivo del arroz fueron diseñados superficiales (sistemas de riego ingeniero, semi-ingeniero y tradicionales), no parece económico introducir sistemas de riego especializados más costosos o transformar los sistemas de riego existentes. Una opción, para mejorar la eficiencia en la conducción del agua, pudiera ser la utilización de politubos de un diámetro determinado que se extienden a lo largo del campo y de manera espaciada presentan orificios para la salida de un caudal establecido.

Este método, es usado en el 32 % de las áreas arroceras de Arkansas, con ahorros del 30 % del volumen de agua Hardke et al. (2021) y en Mississippi, ha permitido disminuir el volumen de agua usada tradicionalmente en un 22 % (Massey et al., 2022). Igualmente, en Uruguay, se han informado ahorros hasta de un 50 % en el volumen de agua y un 30 % en costo de mano de obra (González y Alonso, 2016). También, en Cuba se ha probado con buen resultado en la provincia de Camagüey y en el municipio Los Palacios, en Pinar del Río.

Otra alternativa, pudiera ser la adopción del riego por surcos, práctica que en los últimos años ha aumentado significativamente en EEUU Hardke y Hardke (2021) y logra reducir significativamente el consumo de agua y mano de obra, en comparación con la inundación tradicional (Stevens et al., 2018). Hussein et al. (2023) informaron que la técnica de riego por surcos superó la técnica de riego por inundación continua, reduciendo el uso de agua en 33 % y aumentando el rendimiento de grano en 12,37 %. Resultados similares obtuvieron Massey et al. (2022) con un ahorro del 23 % del volumen de agua. Abdallah et al. (2018), informaron una reducción significativa del consumo de agua e incremento del rendimiento en arroz trasplantado, y concluyeron que el riego por surcos constituye una buena opción para optimizar el uso de agua en sistemas de riego superficial en arroz. También, Hang et al. (2022) demostraron que la adopción del riego por surcos contribuye a la mayor productividad del agua y rendimiento del cultivo del arroz, por lo que recomendaron su implementación para una producción sostenible de arroz que ahorre agua en el norte de China.

Por otro lado, Carnevale et al. (2023) sugieren que el riego por surcos en lechos elevados es la mejor forma de cultivar el arroz y otros cultivos en condiciones aeróbicas, en tierras bajas con suelo arcilloso pesado. *Este método es compatible con los principios de AC de mínima alteración del suelo y mantenimiento de una cobertura permanente de biomasa del suelo*. Al respecto, se ha comprobado que el suministro de agua a través de surcos laterales al cultivo en

lechos elevados en condiciones de AC, ahorra agua de riego (Sharif *et al.* (2014) y disminuye el consumo de portadores energéticos (Saharawat *et al.*, 2022). Además, cuando hay exceso de agua de lluvia en el campo, ésta puede ser drenada por los surcos para evitar inundaciones no deseadas y sus consecuencias (Lv *et al.*, 2019).

Riego por aspersión

Los sistemas de riego por aspersión mecanizados (pivote central y de movimiento lateral mecánico o avance frontal) están ganando atención entre los agricultores de varios países, debido a la fácil gestión del riego, combinada con una mayor eficiencia en el uso del agua y una mayor productividad (Brito *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2021). Además, el riego por aspersión facilita a los agricultores adoptar prácticas de conservación del suelo, como la agricultura sin labranza y la rotación de cultivos (Pinto *et al.*, 2020; Rato *et al.*, 2023).

Un estudio de campo de dos años desarrollado por Spanu *et al.* (2020) en condiciones climáticas mediterráneas y para 26 genotipos de arroz, encontraron que los rendimientos promedio de arroz irrigado por inundación y aspersores nunca fueron estadísticamente diferentes entre sí. También, Hussein *et al.* (2023) en suelo arcillo de Egipto lograron cultivar arroz bajo el sistema de riego por aspersión, con valores más altos de rendimiento de grano, eficiencia en el uso del agua y productividad del agua, en comparación con el riego por surcos y el riego por inundación continua. Resultados similares se informaron por Brito *et al.* (2020) en clima templado del sur de Brasil.

Al respecto se plantea que, los rendimientos del arroz aeróbicos irrigado por aspersión pueden ser equivalentes o superiores a los del arroz inundado continuamente, cuando el riego se activaba con una tensión del suelo entre ≤ 15 y ≤ 30 kPa (Champness *et al.*, 2023). Sin embargo, estos umbrales de tensión del suelo determinados en estudios de otros ambientes pueden no ser idóneos en climas tropicales como el de Cuba. Teniendo en cuenta que Brito *et al.* (2020) observaron en el Sur de Brasil que una tensión del agua del suelo de 10 kPa fue adecuada para manejar el riego por aspersión en arroz, especialmente en la etapa reproductiva, utilizando cultivares desarrollados para ambientes inundados.

Por otro lado, la transición del riego por inundación al riego por aspersión podría con llevar importantes ventajas medioambientales. Como la reducción a la mitad de las necesidades de agua, no es imprescindible el uso de maquinaria agrícola específica para la nivelación del suelo y el levantamiento de diques, puede ser posible reducir el número y la intensidad de los tratamientos contra las malas hierbas (Peña *et al.*, 2023). Además, adoptar el riego por aspersión para el arroz puede ser una opción económicamente viable para los agricultores (Hussein *et al.*, 2023).

Riego localizado en el arroz

El riego por goteo es una tecnología de ahorro de agua que se utiliza en la producción de arroz con siembra directa

en seco fundamentalmente (Mallareddy *et al.*, 2023). Aunque también se ha utilizado con buenos resultados en arroz trasplantado y en combinación con las prácticas del Sistema de Intensificación del Arroz (Rao *et al.*, 2017; Padmanabhan, 2019). El riego por goteo consiste en agregar agua al suelo lentamente y a intervalos frecuentes para mantener el contenido de humedad en el suelo, cerca de la capacidad de campo (Merza *et al.*, 2023).

En el riego por goteo, disminuyen las pérdidas de agua por evaporación, percolación profunda, escorrentía y filtración, en comparación con el riego por inundación, lo que aumenta la productividad del agua en el cultivo (Mallareddy *et al.*, 2023). Además, mejora el macollamiento y el desarrollo y funcionamiento del sistema radicular (Rao *et al.*, 2017; Parthasarathi *et al.*, 2018; Merza *et al.*, 2023). Igualmente, puede proporcionar un mejor control de la salinidad Ikramov *et al.* (2023) y permitir la expansión del cultivo de arroz a zonas montañosas (Gonçalves *et al.*, 2020). Sin embargo, el efecto del riego por goteo en el rendimiento del arroz puede variar según las condiciones locales y ambientales (Mallareddy *et al.*, 2023).

Ikramov *et al.* (2023) en Uzbekistán reportan un ahorro de agua del 26,4 % al 37,6 % con riego por goteo, pero con una disminución significativa del rendimiento, lo que coincide con lo informado por Hang *et al.* (2022) en el norte de China. En cambio, Sasmita *et al.* (2022) en Indonesia obtuvieron un rendimiento agrícola similar al sistema tradicional de inundación, y sugieren que la fertirrigación mediante riego por goteo puede aumentar el rendimiento de los cultivos mediante la aplicación de fertilizante adecuado. En este sentido, Padmanabhan (2019) y Soman (2021) en India observaron que el sistema de goteo con fertirrigación ahorró entre un 50 y un 61 % de agua, aumentó el rendimiento del arroz (13-28 %) en todas las variedades en comparación con los rendimientos registrados con el método de inundación convencional, con mejor eficiencia del uso de N, P y K bajo fertirrigación por goteo. Resultado similar describen Merza *et al.* (2023) en Iraq.

Sin embargo, los sistemas de riego por goteo requieren instalación y mantenimiento especializados, incluida la verificación de fugas u obstrucciones en los emisores, el ajuste del caudal de agua y el monitoreo de los niveles de humedad del suelo. Esto implica mayor necesidad de mano de obra y altos costos de producción, por lo que no son factibles para los agricultores pobres y para las áreas con escases de mano de obra (Mallareddy *et al.*, 2023).

Manejos de riego que ahorran agua

Aunque los experimentos sobre la producción de arroz con sistemas de riego por goteo y de aspersión son prometedores, el riego superficial tradicional con prácticas de inundación continua es el de mayor implementación en el mundo para el cultivo de arroz (Meriguetti *et al.*, 2023; Arouna *et al.*, 2023). Ante esta situación, una alternativa puede ser desarrollar y adoptar prácticas de riego que mejoren la eficiencia en el uso del agua sin afectar el rendimiento (Arouna *et al.*, 2023).

Entre los manejos de riego que ahorran agua en el cultivo de arroz, internacionalmente se destacan: el método humectación y secado alternativos (AWD), el sistema de arroz aeróbico, cultivo en suelo saturado (SSC) y el riego inteligente con sensores e internet de las cosas (IoT) (Mallareddy et al., 2023). No obstante, cada manejo tiene sus propias peculiaridades y deben adoptarse teniendo en cuenta el tipo de suelo, la idoneidad climática, la técnica de riego utilizada tradicionalmente, las características de los campos (topografía o nivelación), las dimensiones de las fincas, las condiciones económicas y la familiaridad de los agricultores con las tecnologías digitales (Mallareddy et al., 2023).

Alternate Wetting and Drying

La alternativa de Mojado y Secado Alternativo (AWD) es la gestión para ahorrar agua **más utilizada** en la producción de arroz (Bwire et al., 2023). Se basa en la inundación intermitente de los arrozales y consiste en la alternancia de las condiciones aeróbicas y anaeróbicas del suelo, excepto durante las etapas de enraizamiento (arroz de trasplante), formación de panículas y floración (Bwire et al., 2023). Se puede aplicar después de la siembra en agua o en seco Gharsallah et al. (2023) y de 1-2 semanas después del trasplante (Bwire et al., 2023).

En AWD, el riego se interrumpe durante días y cuando el contenido de agua en la capa del suelo explorada por las raíces de las plantas cae por debajo de un valor umbral, se vuelve a inundar el campo hasta una profundidad de 5-12 cm (Bwire et al., 2023; Gharsallah et al., 2023; Mubangizi et al., 2023). Esta técnica se está implementando en países como India, Filipinas, Myanmar, Vietnam, Bangladesh, China, Italia, Nepal, Indonesia y los Estados Unidos de América (Mallareddy et al., 2023; Wichaidist et al., 2023). En Cuba se conoce como riego de reposición (MINAG, 2020).

Según Carrijo et al. (2017) las investigaciones han demostrado que mantener un potencial hídrico del suelo (SWP) de ≥ 20 kPa o garantizar que el nivel del agua en el campo no caiga por debajo de 15 cm de la superficie del suelo, garantiza que las plantas no sufran estrés por sequía y los rendimientos no se vean afectados significativamente, independientemente del método de siembra (trasplante o siembra directa) y el tipo de cultivar (híbrida o genética). Investigaciones resientes también coinciden en que un umbral 15 cm garantiza que no exista reducción significativa del rendimiento (Bwire et al., 2023; Mallareddy et al., 2023; Wichaidist et al., 2023). Sin embargo, el umbral de riego para un AWD seguro varía según el tipo de suelo, el cultivar, la etapa de crecimiento del cultivo y el clima Mubangizi et al. (2023); Wichaidist et al. (2023), lo que puede representar un desafío para los agricultores a la hora de realizar un seguimiento de las variaciones óptimas del umbral de riego.

El umbral de contenido de agua del suelo puede monitorearse mediante sensores o dispositivos del estado del agua del suelo (como pueden ser tensiómetros

o pozos de observación) (Bwire et al., 2023; Mallareddy et al., 2023). Asimismo, la automatización de la práctica de AWD mediante sensores inteligentes basados en Internet de las cosas (IoT) y alertas en tiempo real que aplican información sobre suelos, cultivos y clima, puede optimizar la eficiencia en el uso del agua (Pham et al., 2021).

Se ha demostrado que el riego AWD ahorra agua de riego, mejora la eficiencia en el uso del agua, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, ahorra fertilizantes y pesticidas. Basado en un metanálisis de 56 estudios, Carrijo et al. (2017) establecieron que este método de riego AWD ahorró el 25,7 % del aporte de agua, con una mayor productividad del arroz. Pero Mallareddy et al. (2023). plantean que puede reducir el uso de agua hasta en un 37 % sin afectar la producción, debido a que estimula el crecimiento de las raíces (sistema de raíces más profundo). Este comportamiento de las raíces que permite una mejor absorción de agua y nutrientes de las capas más profundas del suelo, además logra que las plantas sean más tolerantes al estrés hídrico (Singh y Chakraborti, 2019). Igualmente, (Bouman y Lampayan, 2009), apreciaron que el riego intermitente con AWD disminuyó las plagas de insectos en un 92 % y las enfermedades en un 100 %.

Por otro lado, numerosos estudios sobre AWD han destacado beneficios adicionales, como: la reducción de la frecuencia del riego; el ahorro de combustible; la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente metano; una mayor eficiencia en el uso de nitrógeno y fósforo, y una menor acumulación de contaminantes como el arsénico (As) y el mercurio (Hg) en el grano (Islam et al., 2022; Bwire et al., 2023; Wichaidist et al., 2023).

Sin embargo, AWD puede no ser el enfoque más adecuado para el cultivo de arroz en suelos arenosos, ya que el agua se drena rápidamente y genera un ahorro mínimo de agua. De manera similar, en suelos arcillosos pesados y niveles freáticos poco profundos, puede no ser necesaria, ya que en estos suelos el nivel freático nunca cae por debajo de las raíces más bajas (Mallareddy et al., 2023). Igualmente, estudios realizados por Gharsallah et al. (2023) en Italia, indicaron que los costes variables totales aplicando AWD fueron aproximadamente 71 euros más altos en comparación con la inundación continua, lo que atribuyeron a una mayor necesidad de mano de obra para la gestión del riego.

Una práctica agrícola prometedora que asociada a AWD, puede ofrecer opciones superiores en términos de ahorro de agua, productividad del arroz y reducción de emisiones de GEI es la agricultura de conservación (Gangopadhyay et al., 2023). La aplicación de los principios de AC basada en el mínimo disturbio del suelo, la retención de residuos en la superficie del campo y la rotación de cultivos, mejora la salud del suelo y la capacidad de retención de agua de los suelos arroceros Domínguez et al. (2024), poner otras bibliografías, lo que contribuye a reducir las emisiones de GEI e incrementar la eficiencia del agua.

Sistema de arroz aeróbico

El cultivo de arroz aeróbico es un enfoque para cultivar arroz en suelos bien drenados, no inundados y no saturados, sin agua estancada (Mallareddy *et al.*, 2023; Saikumar *et al.*, 2023). Generalmente, el arroz se siembra en suelo seco, sin que se produzca ninguna inundación y el campo se riega de forma intermitente. Aunque, en ocasiones la gestión del agua consiste en inmersiones breves, que pueden durar algunos días, alternadas con períodos secos más largos Monaco *et al.* (2016), por lo que se deben utilizar cultivares específicos de arroz aeróbico.

Este sistema es compatible con las prácticas del SIR y se pueden utilizar tecnologías de riego como la humectación y secado (AWD) Kumar *et al.* (2023) y el riego por goteo (Sasmitha *et al.*, 2022). Entre las principales ventajas de este sistema de cultivo se destaca el ahorro de agua, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el potencial de calentamiento global (Kumar *et al.*, 2023). Además, puede facilitar el tráfico de la maquinaria agrícola y facilitar el proceso de cosecha-transporte. También, favorece la rotación del arroz con legumbres y leguminosas que aportan nitrógeno al suelo Saikumar *et al.* (2023), pero el cambio del cultivo de arroz inundado convencional a un sistema de arroz aeróbico, generalmente ha dado como resultado rendimientos más bajos (Champness *et al.*, 2023; Merigueti *et al.*, 2023).

En el cultivo de arroz aeróbico, puede existir mayor infestación de malezas y ser necesario utilizar medidas de control de malezas intensivas, como la aplicación de herbicidas o deshierbe manual (Mallareddy *et al.*, 2023). Investigaciones realizadas por Champness *et al.* (2023) en zonas templadas de Australia demuestra que el arroz aeróbico requiere más de 20 eventos de riego por temporada, lo que implica alta demanda de mano de obra, por lo que la adopción de arroz aeróbico a escala comercial es poco probable sin la utilización de tecnología de riego automatizado.

Cultivo de suelo saturado (SSC)

Es una alternativa de gestión del agua en la que se aplica riego poco profundo para lograr alrededor de 1 cm de profundidad de agua durante uno o dos días después de que el agua estancada haya desaparecido (Bwire *et al.*, 2023; Mallareddy *et al.*, 2023). Generalmente, el SSC implica regar el campo a una profundidad de aproximadamente 1 cm por día después de que el agua estancada se haya disipado (Wichaidist *et al.*, 2023). En SSC, el suelo se mantiene lo más cerca posible de la saturación, lo que reduce la carga hidráulica y disminuye las pérdidas por filtración y percolación (Bwire *et al.*, 2023). La profundidad del agua sobre el suelo se mantiene por debajo de 3 cm (Mallareddy *et al.*, 2023).

Según Matsue *et al.* (2021) el riego SSC puede aumentar significativamente el rendimiento de grano al incrementar el porcentaje de granos llenos en comparación con el sistema tradicional de inundación. En Australia, la CSS utilizó alrededor de un 32 % menos de agua en comparación

con la producción tradicional de arroz inundado en ambas estaciones (húmeda y seca), sin ningún efecto sobre el rendimiento y la calidad del grano (Mallareddy *et al.*, 2023). Resultado similar obtuvieron Borja *et al.* (2018) en Brasil.

El CSS facilita la utilización máxima de la lluvia y reduce el número de riegos necesarios para el desarrollo del cultivo, reduciendo así el costo de riego, la energía necesaria para el riego y el agua de riego (Mallareddy *et al.*, 2023). Además, puede mejorar la eficiencia de utilización de nitrógeno y fósforo de la planta de arroz, y por consiguiente reducir la necesidad de fertilizantes (Wichaidist *et al.*, 2023). Al mismo tiempo, tiene el potencial de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en particular las emisiones de metano (Wichaidist *et al.*, 2023).

Riego inteligente (Smart Irrigation)

Esta tecnología se sustenta en el uso de sensores de riego inteligente, el Internet de las Cosas (IoT), las comunicaciones inalámbricas, las redes de estaciones meteorológicas automáticas, la medición mejorada de la evapotranspiración de los cultivos, las imágenes aéreas y satelitales, y la tecnología de computación en la nube. Se utilizan redes inalámbricas para recopilar datos de sensores de humedad del suelo, a los que luego se puede acceder a través de un navegador web o una aplicación de teléfono inteligente (Mallareddy *et al.*, 2023; Zeng *et al.*, 2023).

El sistema de riego inteligente basado en IoT permite el monitoreo remoto en tiempo real del contenido de humedad y la gestión precisa del riego en los arrozales, a través de dispositivos móviles (Mallareddy *et al.*, 2023; Zeng *et al.*, 2023). Los sistemas de riego se pueden automatizar para adaptarse a diferentes cultivos, suelo, clima y otros factores con la ayuda de sensores de humedad y temperatura, dispositivos IoT y algoritmos de aprendizaje automático (Vijayakumar *et al.*, 2022b). Además, se pueden integrar con otras tecnologías, como el pronóstico del tiempo o imágenes tomadas por drones, para optimizar el proceso de riego (Mallareddy *et al.*, 2023).

La automatización de los sistemas de riego aumenta la producción sin requerir mano de obra, mejora la calidad y la eficiencia del uso del agua de los cultivos, al tiempo que reduce el consumo de agua, el tiempo, el costo y el gasto energético del riego (Vijayakumar *et al.*, 2022a; Zeng *et al.*, 2023). Los sistemas de IoT son particularmente útiles en las regiones con una fuerza laboral limitada a causa de la reducción de la población rural, el envejecimiento de la población o el aumento de los salarios laborales en las actividades agrícolas, teniendo en cuenta se reduce la necesidad de mano de obra entre un 19,1 % y 24,5 %, en comparación con el sistema de riego convencional (Lee, 2022; Zeng *et al.*, 2023). Además, los agricultores pueden aumentar los beneficios de ahorro de agua si se combinan con tecnologías como de la tecnología AWD, SRI o riego intermitente (Pham *et al.*, 2021; Zeng *et al.*, 2023).

Sin embargo, la adopción y difusión de los sistemas de riego automatizados basados en sensores de IoT, en los campos de arroz puede ser lenta debido a factores como la falta de experiencia técnica de los productores y el alto

coste de los sensores utilizados para el riego automático inteligente, que resulta inaccesibles para los agricultores pequeños, fundamentalmente (García et al., 2020; Mallareddy et al., 2023). Además, para su uso es necesario que exista una conexión a Internet de calidad para que los datos puedan enviarse desde el remitente al receptor, lo que, en las áreas arroceras de Cuba, aún constituye un problema.

Prácticas agronómicas que ahorran agua

En el cultivo de arroz irrigado, las múltiples soluciones agronómicas que se pueden adoptar para ahorrar agua incluyen:

- Un cambio en la combinación de cultivos, introducción de nuevos cultivares de arroz con características genéticamente mejoradas que requieran menos agua Surendran et al. (2021) y de ciclo corto (Monaco et al., 2016; Hussein et al., 2023).
- El empleo de coberturas vegetales Wei et al. (2019); Singh et al. (2021) o acolchado plástico Zhang et al. (2022), especialmente en condiciones de suelo aeróbico no saturado (Singh et al., 2021).
- Siembra en seco y riego intermitente, conocido como arroz aeróbico (Monaco et al., 2016).
- Aplicación de materia orgánica (Chen et al., 2022).
- Practicar el cultivo sin labranza y siembra directa Gangopadhyay et al. (2023), lo que implica eliminar el laboreo tradicional y la práctica de fangueo (Carnevale et al., 2023).
- La implementación de métodos eficientes de control de malezas (Monaco et al., 2016; Farooq et al., 2019).
- Nivelación adecuada de los campos (Haji, 2023; Mallareddy et al., 2023).
- Reutilizar el agua por exceso o de drenaje (Haji, 2023).
- Ajustar la fecha de siembra del cultivo para hacer un uso más eficaz de la lluvia (Luo et al., 2022).
- La siembra directa en seco e inundación retardada, lo que elimina el consumo de agua para la preparación de suelo. Estrategia que en Italia implica una reducción de los costos variables totales de 215,50 euros por hectárea, con respecto al cultivo tradicional e inundación permanente (Gharsallah et al., 2023).
- Construir y revestir canales y vías fluviales de campo Mallareddy et al. (2023), lo que puede realizarse mediante el uso de materiales de polietileno (Rau et al., 2020).

En Cuba, según varios trabajos de investigación, la exposición del cultivo a condiciones de estrés controlado por déficit hídrico, fundamentalmente en la fase de ahijamiento ha favorecido el incremento

del rendimiento y disminuido el consumo de agua (Ruiz et al., 2016; Polón et al., 2019). Otros estudios mundiales demuestran que, reduciendo la altura de la lámina de agua, así como fortalecer los programas de extensión, capacitación y demostración en campos de agricultores, para conservar agua y aumentar la eficiencia del riego, pueden ser estrategias que contribuyan al ahorro de agua (Mallareddy et al., 2023). También, es esencial brindar estímulo, apoyo e incentivos a los agricultores para que adopten estos métodos en la práctica (Wichaidist et al., 2023). Lo cual constituye elementos importantes a considerar al adoptar sistemas de cultivos alternativos que contribuyan al ahorro de agua.

Sistema de intensificación del arroz (SRI)

Consiste en la aplicación de cuatro reglas fundamentales, relacionadas entre sí: una plantación temprana, ágil y sólida; disminución de la densidad de plantas; mejorar el suelo mediante suplementos orgánicos; y aplicación controlada y reducida de agua (Singh et al., 2021). Sin embargo, con frecuencia se adoptan ajustes para hacer frente a las condiciones cambiantes del suelo, los diseños climáticos, el control del agua, la accesibilidad al trabajo, el acceso a los recursos naturales y la elección de depender completamente de la agricultura orgánica (Uddin y Dhar, 2020). Este es un sistema fundamentalmente concebido para la siembra por trasplante con plántulas de entre 8 y 12 días de edad.

El SRI ha demostrado resultados positivos en China e India y en más de 60 países de Asia, África y América Latina (Kumar et al., 2023). En general, el SRI puede reducir la cantidad de semilla requerida de 120 a 10 kg ha⁻¹. Además, las evaluaciones en finca de los principales países productores de arroz (Bangladesh, Camboya, China, India, Indonesia, Nepal, Sri Lanka y Vietnam) indican que, como promedio, aumenta el rendimiento en un 47 %, ahorra un 40 % de agua, aumenta los ingresos por hectárea en un 68 % y reduce los costos por hectárea en un 23 % (Mubangizi et al., 2023). También, puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 21 % (Mubangizi et al., 2023) y su tecnología es más accesible a pequeños y medianos productores (Valdiviezo et al., 2023).

Sin embargo, las posturas de arroz deben plantarse con mayor cuidado y precisión, labor que aún se realiza fundamentalmente de forma manual en muchos países, igualmente puede ser necesario realizar labores adicionales de deshierbe, por lo que los mayores requisitos de mano de obra han impedido su adopción en varios países (Kaur et al., 2023). No obstante, en la actualidad existen máquinas autopropulsadas para el trasplante mecanizado del arroz Miranda et al. (2022) y desmalezadores mecánicos que pueden contribuir a la implementación del SRI, incluso en grandes fincas.

También se ha informado como inconveniente para su mayor difusión, que no exista costumbre de trasplantar plántulas muy pequeñas e individuales. La necesidad de mejorar la construcción de los semilleros. Problemas de control de malezas debido a las mayores distancias de trasplante y el prescindir del uso de riego con una lámina constante de agua (Valdiviezo et al., 2023).

Uso de hidrogel o polímero superabsorbente

El hidrogel se define como una red polimérica tridimensional que puede retener una cantidad significativa de agua dentro de su estructura e hincharse sin disolverse en agua (Guilherme *et al.*, 2015). Las partículas (hidrogel o polímero superabsorbente), cuando están en el suelo, actúan como depósitos de agua, de los cuales las raíces de las plantas pueden absorber agua, por lo que la aplicación de hidrogel se ha identificado como una posible solución para aumentar la eficiencia en el uso del agua en el riego (Prakash *et al.*, 2021b).

Las principales ventajas del uso de hidrogeles, pueden variar según las condiciones del suelo. Sin embargo, estas ventajas incluyen un aumento en la germinación de las semillas, mayor crecimiento de las plántulas y sus raíces, lo que contribuye a una población de plantas más densa y a mayores rendimientos. Los hidrogeles también facilitan una mejor absorción del exceso de agua, permitiendo su liberación gradual durante períodos de estrés hídrico, lo que retrasa la aparición del punto de marchites permanente. Además, los hidrogeles aumentan significativamente la eficiencia en el uso del agua al reducir la pérdida de agua por evaporación y lixiviación, disminuyendo la frecuencia de riego, la necesidad de fertilizantes para los cultivos y los costos asociados con el riego. Igualmente, estos materiales pueden resistir las concentraciones de sal en el suelo, mejorando sus atributos físicos, químicos y biológicos (Vedovello *et al.*, 2024).

Los hidrogeles proporcionan soluciones versátiles para abordar la escasez de agua y la degradación del suelo en la agricultura (Vedovello *et al.*, 2024). Investigaciones recientes, muestran que la disponibilidad de agua en suelo franco arcilloso aumentó del 56 % al 125 % con la adición del hidrogel. Con una tasa de aplicación ideal del 0,2 %, el hidrogel disminuyó la necesidad de agua de riego en un 29 % en comparación con el suelo desnudo (Saha *et al.*, 2021).

Rehman *et al.* (2011) encontraron que la aplicación de hidrogel mejoró el contenido de humedad del suelo franco arenoso, en comparación con el suelo sin hidrogel, lo que aumentó la cantidad de semillas germinadas y logró un mejor establecimiento del cultivo. Con una mejora significativa de los componentes del rendimiento (altura de las plantas, el número de hijos fértiles, número de granos por panícula y peso de 1000 granos) y el rendimiento de arroz en el suelo modificado con hidrogel, en todas las técnicas de siembra. Además, la siembra de arroz en camas con enmienda de hidrogel, mejoró el crecimiento y el rendimiento del arroz aeróbico más que otras técnicas de siembra.

También, El-Naby *et al.* (2024) observaron que la aplicación de polímero de hidrogel conservó aproximadamente el 14,8 % del agua aplicada y mejoró el rendimiento del grano de arroz en un 16,5 %, así como, también aumentó la productividad del agua de 0,32 kg m⁻³ a 0,48 kg m⁻³ en comparación con el tratamiento sin hidrogel.

En general, los efectos encontrados en el cultivo del arroz, pueden deberse a la mejora, del contenido de humedad del suelo, la curva de retención de humedad, la densidad aparente, la densidad de partículas, la porosidad total, el diámetro de los poros, la materia orgánica y la actividad biológica en el suelo (Solieman *et al.*, 2023). Así como, a la reducción de la lixiviación de nutrientes del suelo a través de escorrentía e infiltración (Prakash *et al.*, 2021a).

Aunque los estudios han señalado que el hidrogel en la agricultura no presenta riesgos para el medio ambiente Vedovello *et al.* (2024) y su aplicación se identifica como una posible solución para aumentar la eficiencia en el uso del agua en el riego (Prakash *et al.*, 2021b). La implementación de hidrogel a gran escala puede verse obstaculizada por cuestiones como la relación costo-beneficio y la estabilidad de muchas prácticas agrícolas tradicionales (Kaur *et al.*, 2023). Por otro lado, la utilización de la mayor parte de los hidrogeles, todavía se basa en polímeros sintéticos, lo que genera preocupación sobre su papel en aplicaciones a largo plazo Vedovello *et al.* (2024), por tanto, debe de emplearse con precaución en el cultivo de arroz.

Trabajos de investigación realizados por (Cisneros *et al.* (2018, 2020, 2021) sobre el uso de polímeros en la agricultura cubana en los cultivos tomate, maíz y frijol han demostrado que en todos los ensayos cuando se aplicó el polímero se disminuye el número de riego. En consecuencia, la norma neta total también se redujo en el intervalo de 19 y 27 %, la productividad del agua se incrementa con respecto al tratamiento testigo en el rango de 24 y 40 %, lográndose, además las mejores relaciones beneficio-costos cuando se empleó el polímero.

Agricultura de conservación (AC)

A medida que aumenta la vulnerabilidad de los sistemas de producción agrícola a los efectos del cambio climático, el mundo necesita nuevos enfoques de cultivo que sean más resilientes y productivos (Carnevale *et al.*, 2023). La AC ha demostrado relevancia global para mejorar la producción de cultivos, el alivio de la pobreza, la seguridad alimentaria y la adaptabilidad y mitigación del cambio climático (Kassam *et al.*, 2022). Esta tecnología de producción agrícola se caracteriza por tres principios fundamentales: mantener permanente el suelo cubierto con restos de cosecha o cubiertas vegetales al menos en un 30 %, una perturbación mínima del terreno y una diversificación de las especies cultivadas en rotación (Kassam *et al.*, 2022).

Mundialmente, la AC es utilizada con buenos resultados en aproximadamente 205,4 Mha en todo el mundo, fundamentalmente en países como Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá y Australia, y ha comenzado a ganar aceptación en el cultivo del arroz (Kassam *et al.*, 2022). Sin embargo, para sostener una productividad óptima de los factores y los servicios ecosistémicos, las prácticas básicas de AC deben combinarse con otras prácticas complementarias para el manejo integrado de cultivos, suelo, nutrientes, agua, plagas, mano de obra, energía y

tierra (Kassam et al., 2022). En este sentido, la combinación de la AC con la aplicación de métodos y alternativas de riego que ahorran agua, podría contribuir a la sostenibilidad de la producción arroceras en condiciones de riego.

En un sistema de AC, la siembra se realiza directamente en suelos sin labrar Domínguez et al. (2021) y el agua se puede gestionar manteniendo el suelo en condiciones mayoritariamente húmedas sin inundaciones continuas (Carnevale et al., 2023). Teniendo en cuenta que las condiciones de AC mejoran la salud del suelo y promueven el desarrollo radicular del cultivo, por lo que las plantas pueden tolerar mejor el estrés hídrico. Además, el mínimo disturbio del suelo y el aumento de la materia orgánica, mejoran la infiltración del suelo y la capacidad de retención de agua, lo que permite períodos más largos entre eventos de riego (Singh, 2018).

El mantenimiento de las condiciones del suelo húmedo en los sistemas de AC se puede realizar mediante la gestión del agua. Ya sea con riego por goteo o riegos frecuentes (superficiales o por aspersión), o mediante ciclos de AWD en riego superficial (inundación por pulsos), los cuales pueden aumentar la eficiencia en el uso del agua en más del 50 % y reducir las emisiones de CH₄ en un 30-70 % (Carnevale et al., 2023).

También la AC ha mostrado buenos resultados en el cultivo de arroz en camas elevadas permanentes, sin labranza, cubiertas con residuos de biomasa, y el riego se aplica en los surcos entre las camas en mediante riego por inundación (Sharif et al., 2014). Con este método se logra reducir los requisitos de agua y mano de obra para el cultivo de arroz en un 70%, con un rendimiento de 12 t ha⁻¹ en Pakistán (Sharif, 2011). Resultado similar ha sido obtenido (Hossain et al., 2021) en Arkansas, EE.UU. en un suelo franco arenoso, no apto para el cultivo inundado (Carnevale et al., 2023).

Por otro lado, el cultivo en camas elevadas y el riego por surcos puede beneficiar la rotación del arroz con otros cultivos que no toleran la inundación. Además, está demostrado que los sistemas de labranza cero inducen una reducción en el banco de semillas de malezas presentes en el suelo (Hossain et al., 2021). Este enfoque de cultivar el arroz bajo principios de AC en camas elevadas y riego por surcos es compatible con otros sistemas de cultivo como el sistema de intensificación del arroz Carnevale et al. (2023) y puede potenciar la aplicación de hidrogel en la agricultura.

CONCLUSIONES

- En el mundo, se adoptan diferentes métodos de riego y alternativas de manejo del agua en el cultivo del arroz, todas encaminadas al uso eficiente y sostenible del recurso agua como medida de mitigación de los efectos de la variabilidad y el cambio climático.
- Existen diferentes métodos de riego con mayor o menor eficiencia en el uso del agua que pueden ser utilizados en el riego del arroz. El estudio realizado en el presente trabajo evidencia que la tendencia es

a la combinación de estos métodos, con diferentes estrategias que reduzcan los volúmenes de agua necesarios a aplicar para el control de las arvenses y el buen desarrollo fisiológico del cultivo del arroz.

- La adopción de sistemas agrícolas que combinen las ventajas de la agricultura de conservación con el Sistema de Intensificación del Arroz y la aplicación de hidrogeles o polímero súper absorbente, puede ofrecer soluciones prometedoras para el futuro de las innovaciones y tecnologías agrícolas que abordan los desafíos para mejorar la eficiencia en el uso del agua de riego en el cultivo del arroz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLAH, A.; ALZOHEIRY, A.; BURKEY, K.: "Comparison of flooded and furrow-irrigated transplanted rice (*Oryza sativa* L.): Farm-level perspectives", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(9): 04018022, 2018, ISSN: 0733-9437, DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001337](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001337).
- AROUNA, A.; DZOMEKU, I.K.; SHAIBU, A.-G.; NURUDEEN, A.R.: "Water management for sustainable irrigation in rice (*Oryza sativa* L.) production: A review", *Agronomy*, 13(6): 1522, 2023, ISSN: 2073-4395, DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061522>.
- BORJA, R.A.F.; ALMEIDA, R.E.; LAGO, B.C.; TRIVELIN, P.C.; LINQUIST, B.; FAVARIN, J.L.: "Aerobic rice system improves water productivity, nitrogen recovery and crop performance in Brazilian weathered lowland soil", *Field Crops Research*, 218: 59-68, 2018, ISSN: 0378-4290, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.002>.
- BOUMAN, B.A.M.; LAMPAYAN, R.M.: *Rice Fact Sheet-Alternate Wetting Drying (AWD)*, Inst. International Rice Research Institute: Los Baños, Philippines, Los Baños, Philippines, 2009.
- BRITO, M.A.; BARBAT, J.M.; TIMM, L.C.; COLLAZOS-ROMO, L.: "Concenço G, Stumpf L, Gomes B. Sprinkler irrigation in lowland rice: Crop yield and its components as a function of water availability in different phenological phases", *Field Crops Research*, 248: 107714, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107714>.
- BWIRE, D.; SAITO, H.; SIDLE, R.C.; NISHIWAKI, J.: "Water Management and Hydrological Characteristics of Rice-Paddy Catchments Under AWD Irrigation Practice: Asia and Sub-Saharan Africa", 2023, DOI: [10.20944/preprints202311.1677.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202311.1677.v1).
- CARNEVALE-ZAMPAOLO, F.; KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; PARR, A.; UPHOFF, N.: "Compatibility between Conservation Agriculture and the System of Rice Intensification", *Agronomy*, 13(11): 2758, 2023, ISSN: 2073-4395, DOI: [10.20944/preprints202309.1689.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202309.1689.v1).
- CARRIJO, D.R.; LUNDY, M.E.; LINQUIST, B.A.: "Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis", *Field Crops Research*, 203: 173-180, 2017, ISSN: 0378-4290, DOI: [10.1016/j.fcr.2016.12.00](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.00).

- CHAMPNESS, M.; BALLESTER, C.; HORNBuckle, J.: "Effect of soil moisture deficit on aerobic rice in temperate Australia", *Agronomy*, 13(1): 168, 2023, ISSN: 2073-4395, DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010168>.
- CHEN, K.; YU, S.; MA, T.; DING, J.; HE, P.; DAI, Y.; ZENG, G.: "Effects of water and nitrogen management on water productivity, nitrogen use efficiency and leaching loss in rice paddies. Water 14 (10): 1596", *Water*, 14(10): 1596, 2022, DOI: <https://doi.org/10.3390/w14101596>.
- CISNEROS, Z.E.; CUN, G.C.; HERRERA, P.J.; GONZÁLEZ, R.F.; CUN, R.S.; SARMIENTO, G.O.: "Efecto de los polímeros en la economía del agua.", *Revista Iberoamericana de polímeros*, 21(1): 1-13, 2020.
- CISNEROS, Z.E.; CUN, G.R.; ROSALES, N.L.; GONZÁLEZ, M.D.: "Lluvia sólida, para un uso eficiente del agua. Resultados preliminares", *Ingeniería Agrícola*, 8(1): 13-20, 2018, ISSN: 2227-8761.
- CISNEROS-ZAYAS, E.; GONZÁLEZ-ROBAINA, F.; CUN-GONZÁLEZ, R.; HERRERA-PUEBLA, J.; MATOS-CREMÉ, H.; SARMIENTO-GARCÍA, O.: "Los polímeros súper absorbentes y su influencia sobre la productividad del agua en el frijol", *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(2): 10-17, 2021, ISSN: 2306-1545.
- DOMÍNGUEZ, V.C.; DE ARAÚJO, A.G.; MIRANDA, C.A.; DÍAZ, L.G.; RODRÍGUEZ, G.A.: "Machinery for direct sowing of rice in agricultural conditions", *International Journal of Food science and Agriculture*, 5(3): 471-481, 2021, DOI: [10.26855/ijfsa.2021.09.018](https://doi.org/10.26855/ijfsa.2021.09.018).
- DOMÍNGUEZ, V.C.; MIRANDA, C.A.; DÍAZ, L.G.; DOMÍNGUEZ, P.D.; DUARTE, D.C.; RUIZ, S.J.; RODRÍGUEZ, A.: "Properties of a cultivated soil of irrigated rice under conservation agriculture principles", *Net Journal of Agricultural Science*, 12(1): 9-16, 2024, DOI: [10.30918/NJAS.121.24.011](https://doi.org/10.30918/NJAS.121.24.011).
- EL-NABY, A.; EL-GHANDOR, A.; ABOU EL-DARAG, I.; MAHMOUD, M.: "Impact of Hydrogel Polymer on Water Productivity, Weed Control Efficiency and Yield of Broadcast-Seeded Rice", *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(2): 9-27, 2024, ISSN: 2320-7035, DOI: [10.9734/IPSS/2024/v36i2435](https://doi.org/10.9734/IPSS/2024/v36i2435).
- FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; UL-ALLAH, S.; SIDDIQUE, K.: "Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants", *Agricultural Water Management*, 219: 95-108, 2019, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.010>.
- GANGOPADHYAY, S.; CHOWDHURI, I.; DAS, N.; PAL, S.C.; MANDAL, S.: "The effects of no-tillage and conventional tillage on greenhouse gas emissions from paddy fields with various rice varieties", *Soil and Tillage Research*, 232: 105772, 2023, ISSN: 0167-1987, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105772>.
- GARCÍA, L.; PARRA, L.; JIMENEZ, J.M.; LLORET, J.; LORENZ, P.: "IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture", *Sensors*, 20(4): 1042, 2020, ISSN: 1424-8220, DOI: <https://doi.org/10.3390/s20041042>.
- GHARSALLAH, O.; RIENZNER, M.; MAYER, A.; TKACHENKO, D.; CORSI, S.; VUCITERNA, R.; ROMANI, M.; RICCIARDELLI, A.; CADEI, E.; TREVISAN, M.: "Economic, environmental, and social sustainability of Alternate Wetting and Drying irrigation for rice in northern Italy", *Frontiers in Water*, 5: 1213047, 2023, ISSN: 2624-9375, DOI: [10.3389/frwa.2023.1213047](https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1213047).
- GONÇALVES, J.M.; FERREIRA, S.; NUNES, M.; AGRAWAL, R.; AMADOR, P.; FILIPE, O.; DUARTE, I.M.; TEIXEIRA, M.; VASCONCELOS, T.; OLIVEIRA, F.: "Developing irrigation management at district scale based on water monitoring: study on Lis valley, Portugal", *AgriEngineering*, 2(1): 78-95, 2020, ISSN: 2624-7402.
- GONZÁLEZ, M.; ALONSO, A.M.: "Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz", *Nova*, 14(26): 63-78, 2016, ISSN: 1794-2470.
- GUILHERME, M.R.; AOUADA, F.A.; FAJARDO, A.R.; MARTINS, A.F.; PAULINO, A.T.; DAVI, M.F.T.; RUBIRA, A.F.; MUNIZ, E.C.: "Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review", *European Polymer Journal*, 72: 365-385, 2015, ISSN: 0014-3057.
- Haji, W.S.: "Adoption of technology to improve self-sufficiency in paddy plantations in Brunei: Challenges and mitigation strategies for intermediate stakeholders.", En: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Ed. IOP Publishing, vol. 1182, p. 012011, 2023, DOI: [10.1088/1755-1315/1182/1/012011](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1182/1/012011), ISBN: 1755-1315.
- HANG, X.; DANSO, F.; LUO, J.; LIAO, D.; ZHANG, J.; ZHANG, J.: "Effects of water-saving irrigation on direct-seeding rice yield and greenhouse gas emissions in north China", *Agriculture*, 12(7): 937, 2022, ISSN: 2077-0472, DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12070937>.
- HARDKE, J.; SHA, X.; BATEMAN, N.: "BR Wells Arkansas rice research studies 2020. Arkansas Agricultural Experiment Station Research Series", 2021, *Disponible en*: <https://scholarworks.uark.edu/aaesser/200>.
- HARDKE, J.T.; HARDKE, J.L.: *Arkansas Furrow-Irrigated Rice*, Inst. University of Arkansas System: Little Rock, AR, USA, Little Rock, AR, USA, 42 p., 2021.
- HOSSAIN, M.; BEGUM, M.; HASHEM, A.; RAHMAN, M.M.; HAQUE, M.E.; BELL, R.W.: "Continuous practice of Conservation Agriculture for 3-5 years in intensive rice-based cropping patterns reduces soil weed seedbank", *Agriculture*, 11(9): 895, 2021, ISSN: 2077-0472, DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11090895>.
- HUSSEIN, N.; EL ANSARY, M.; AWAD, M.; MOS-TAFA, H.M.S.: "Effect of sprinkler and furrow irrigation systems on rice yield and its water pro-

- ductivity”, *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 40(4): 319-330, 2023, ISSN: 1687-384X, DOI: [10.21608/mjae.2023.229501.1113](https://doi.org/10.21608/mjae.2023.229501.1113).
- IKRAMOV, R.; GAPPARO, S.; DZHUMAEV, Z.; ABDUKHOLIK, U.: “Results of application of water-saving technologies in rice farming”, En: *E3S Web of Conferences*, Ed. EDP Sciences, vol. 401, p. 01041, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101041>, ISBN: 2267-1242.
- ISLAM, S.; GAIHRE, Y.K.; ISLAM, M.R.; AHMED, M.N.; AKTER, M.; SINGH, U.; SANDER, B.O.: “Mitigating greenhouse gas emissions from irrigated rice cultivation through improved fertilizer and water management”, *Journal of Environmental Management*, 307: 114520, 2022, ISSN: 0301-4797, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114520>.
- KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R.: “Successful experiences and lessons from conservation agriculture worldwide”, *Agronomy*, 12(4): 769, 2022, ISSN: 2073-4395, DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12040769>.
- KAUR, P.; AGRAWAL, R.; PFEFFER, F.M.; WILLIAMS, R.; BOHIDAR, H.B.: “Hydrogels in agriculture: Prospects and challenges”, *Journal of Polymers and the Environment*, 31(9): 3701-3718, 2023, ISSN: 1566-2543, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02859-1>.
- KUMAR, R.M.; CHINTALAPATI, P.; RATHOD, S.; VIDHAN SINGH, T.; KUCHI, S.; MANNAVA, P.B.; LATHA, P.C.; SOMASEKHAR, N.; BANDUMULA, N.; MADAMSETTY, S.: “Comparison of System of Rice Intensification Applications and Alternatives in India: Agronomic, Economic, Environmental, Energy, and Other Effects”, *Agronomy*, 13(10): 2492, 2023, ISSN: 2073-4395, DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13102492>.
- LEE, J.: “Evaluation of automatic irrigation system for rice cultivation and sustainable agriculture water management”, *Sustainability*, 14(17): 11044, 2022, ISSN: 2071-1050, DOI: <https://doi.org/10.3390/su141711044>.
- LUO, W.; CHEN, M.; KANG, Y.; LI, W.; LI, D.; CUI, Y.; KHAN, S.; LUO, Y.: “Analysis of crop water requirements and irrigation demands for rice: Implications for increasing effective rainfall”, *Agricultural Water Management*, 260: 107285, 2022, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107285>.
- LV, S.H.; DONG, Y.J.; JIANG, Y.; PADILLA, H.; LI, J.; UPHOFF, N.: “An opportunity for regenerative rice production: Combining plastic film cover and plant biomass mulch with no-till soil management to build soil carbon, curb nitrogen pollution, and maintain high-stable yield”, *Agronomy*, 9(10): 600, 2019, ISSN: 2073-4395.
- MAJUMDAR, A.; KUMAR, V.D.P.; GIRI, B.; MULLICK, D.; SRIVASTAVA, A.K.; ROYCHOWDHURY, T.; BOSE, S.; JAISWAL, M.K.: “Combined effects of dry-wet irrigation, redox changes and microbial diversity on soil nutrient bioavailability in the rice field”, *Soil and Tillage Research*, 232: 105752, 2023, ISSN: 0167-1987, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105752>.
- MALLAREDDY, M.; THIRUMALA KUMAR, R.; BALASUBRAMANIAN, P.; NASEERUDDIN, R.; NITHYA, N.; MARIADOSS, A.; EAZHILKRISHNA, N.; CHOUDHARY, A.K.; DEIVEEGAN, M.; SUBRAMANIAN, E.: “Maximizing water use efficiency in rice farming: A comprehensive review of innovative irrigation management technologies”, *Water*, 15(10): 1802, 2023, ISSN: 2073-4441, DOI: <https://doi.org/10.3390/w15101802>.
- MASSEY, J.; REBA, M.; ADVIENTO-BORBE, M.; CHIU, Y.-L.; PAYNE, G.: “Direct comparisons of four irrigation systems on a commercial rice farm: Irrigation water use efficiencies and water dynamics”, *Agricultural Water Management*, 266: 107606, 2022, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107606>.
- MATSUE, Y.; TAKASAKI, K.; ABE, J.: “Water management for improvement of rice yield, appearance quality and palatability with high temperature during ripening period”, *Rice Science*, 28(4): 409-416, 2021, ISSN: 1672-6308, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2021.05.011>.
- MERIGUETTI-PINTO, V.; BORJA-REIS, A.F.; ABREU, M.L.; REICHARDT, K.; SANTOS, D.; JONG, Q.: “Sustainable irrigation management in tropical lowland rice in Brazil”, *Agricultural Water Management*, 284: 108345, 2023, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108345>.
- MERZA, N.; ATAB, H.; AL-FATLAWI, Z.; ALSHARIFI, S.: “Effect of irrigation systems on rice productivity”, *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 55(2): 587-597, 2023, DOI: <http://doi.org/10.54910/sab-rao2023.55.2.30>.
- MINAG: *Instructivo Técnico Instructivo Técnico del cultivo del arroz*, Ed. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba, La Habana, Cuba, 142 p., publisher: Ed. Instituto de Investigaciones del Arroz, Ministerio de la Agricultura ..., 2020.
- MIRANDA-CABALLERO, A.; DÍAZ-LÓPEZ, G.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.; DOMÍNGUEZ-VENTO, C.; PANEQUE-RONDÓN, P.: “Evaluación de la calidad del trasplante mecanizado de arroz en Cuba”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(2), 2022, ISSN: 2071-0054.
- MONACO, F.; SALI, G.; BEN HASSEN, M.; FACCHI, A.; ROMANI, M.; VALÈ, G.: “Water management options for rice cultivation in a temperate area: a multi-objective model to explore economic and water saving results”, *Water*, 8(8): 336, 2016, ISSN: 2073-4441, DOI: [10.3390/w8080336](https://doi.org/10.3390/w8080336).
- MUBANGIZI, A.; WANYAMA, J.; KIGGUNDU, N.; NAKAWUKA, P.: “Assessing Suitability of Irrigation Scheduling Decision Support Systems for Lowland Rice Farmers in Sub-Saharan Africa-A Review”, *Agricultural Sciences*, 14(2): 219-239, 2023, DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2023.142015>.

- PADMANABHAN, S.: "Drip irrigation technology for rice cultivation for enhancing rice productivity and reducing water consumption", En: *Proceedings of the 3rd World Irrigation Forum (WIF3)*, Bali, Indonesia, pp. 1-7, 2019.
- PARTHASARATHI, T.; VANITHA, K.; MOHANDASS, S.; VERED, E.: "Evaluation of drip irrigation system for water productivity and yield of rice", *Agronomy Journal*, 110(6): 2378-2389, 2018, ISSN: 0002-1962, DOI: <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2018.01.0002>.
- PEÑA, D.; MARTÍN, C.; FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, D.; TERRÓN-SÁNCHEZ, J.; VICENTE, L.A.; ALBARRÁN, A.; RATO-NUNES, J.M.; LÓPEZ-PIÑEIRO, A.: "Medium-Term Effects of Sprinkler Irrigation Combined with a Single Compost Application on Water and Rice Productivity and Food Safety", *Plants*, 12(3): 456, 2023, ISSN: 2223-7747, DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030456>.
- PHAM, V.B.; DIEP, T.T.; FOCK, K.; NGUYEN, T.S.: "Using the Internet of Things to promote alternate wetting and drying irrigation for rice in Vietnam's Mekong Delta", *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3): 43, 2021, ISSN: 1774-0746, DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00705-z>.
- PINTO, M.A.B.; PARFITT, J.M.B.; TIMM, L.C.; FARIA, L.C.; CONCENÇO, G.; STUMPF, L.; NÖRENBERG, B.G.: "Sprinkler irrigation in lowland rice: Crop yield and its components as a function of water availability in different phenological phases", *Field Crops Research*, 248: 107714, 2020, ISSN: 0378-4290.
- POLÓN-PÉREZ, R.; MIRANDA-CABALLERO, A.; DÍAZ-GARCÍA, R.; RUÍZ-SÁNCHEZ, M.; GUERRA-HERNÁNDEZ, G.; VELÁZQUEZ-PÉREZ, F.: "Effect of Water Stress on Rice Regrowth Crop. Second Part", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(3): 1-6, 2019, ISSN: 1010-2760.
- PRAKASH, B.S.; VASUDEVAN, S.; MANI, S.K.; UPALURI, S.; SUDAKAR, M.: "Drought mitigation through hydrogel application in rice (*Oryza sativa* L.) cultivation.", *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 9(6): 727-733, 2021a, DOI: [http://dx.doi.org/10.18006/2021.9\(6\).727.733](http://dx.doi.org/10.18006/2021.9(6).727.733).
- PRAKASH, S.; VASUDEVAN, S.; BANERJEE, A.; JOE, A.C.; REDDY, G.; KN, G.; MANI, S.K.: "Sustainable water consumption of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by superabsorbent polymer in water stressed conditions", *International Journal of Modern Agriculture*, 10(1): 857-866, 2021b, ISSN: 2305-7246.
- RAO, K.; GANGWAR, S.; KESHRI, R.; CHOURASIA, L.; BAJPAI, A.; SONI, K.: "Effects of drip irrigation system for enhancing rice (*Oryza sativa* L.) yield under system of rice intensification management.", *Applied Ecology & Environmental Research*, 15(4): 487-495, 2017, ISSN: 1589-1623, DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1504_487495.
- RATO-NUNES, J.M.; MARTÍN-FRANCO, C.; PEÑA, D.; TERRÓN-SÁNCHEZ, J.; VICENTE, L.A.; FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, D.; ALBARRÁN, A.; LÓPEZ-PIÑEIRO, A.: "Combined use of biochar and sprinkler irrigation may enhance rice productivity in water-stressed regions", *Annals of Agricultural Sciences*, 68(1): 48-59, 2023, ISSN: 0570-1783, DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aos.2023.05.002>.
- RAU, A.; BEGMATOV, I.; KADASHEVA, Z.; RAU, G.: "Water resources management in rice irrigation systems and improvement of ecological situation in rice growing river basins", En: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Ed. IOP Publishing, vol. 614, p. 012151, 2020, DOI: [10.1088/1755-1315/614/1/012151](https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012151), ISBN: 1755-1315.
- REHMAN, A.; AHMAD, R.; SAFDAR, M.: "Effect of hydrogel on the performance of aerobic rice sown under different techniques.", *Plant Soil Environ*, 57(7): 321-325, 2011.
- RUIZ-SÁNCHEZ, M.; MUÑOZ-HERNÁNDEZ, Y.; POLÓN-PÉREZ, 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*, 37(3): 178-186, 2016, ISSN: 0258-5936.
- SAHA, A.; GUPT, C.B.; SEKHARAN, S.: "Recycling natural fibre to superabsorbent hydrogel composite for conservation of irrigation water in semi-arid regions", *Waste and Biomass Valorization*, 12(12): 6433-6448, 2021, ISSN: 1877-2641, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01489-9>.
- SAHARAWAT, Y.S.; GILL, M.; GATHALA, M.: *Conservation agriculture in south Asia*, Ed. Burleigh Dodds, Cambridge, UK, Kassam, A ed., vol. Advances in Conservation Agriculture, 3, Cambridge, UK, publisher: Cambridge University Press, 2022.
- SAIKUMAR, G.; JINSY, V.; SUMESH, K.: "Agro-economic evaluation of aerobic rice+ legume intercropping system under varying levels of nitrogen.", *The Mysore Journal of Agricultural Sciences*, 57(3): 146-152, 2023.
- SASMITA, P.; AGUSTIANI, N.; MARGARET, S.; ARDHIYANTI, S.D.; SUPRIHANTO, S.; NUGRAHA, Y.; SUHARTINI, S.: "Drip irrigation technology performance on rice cultivation", *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 11(1): 130-145, 2022, DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v11.i1.130-145>.
- SHARIF, A.: "Technical adaptations for mechanized SRI production to achieve water saving and increased profitability in Punjab, Pakistan", *Paddy and Water Environment*, 9(1): 111-119, 2011, ISSN: 1611-2490, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108345>.
- SHARIF, A.; KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; UPHOFF, N.; JOSHI, R.C.; SAHU, P.: "Towards the integration of the System of Rice Intensification (SRI) and Conservation Agriculture (CA) in the Indus Basin in Pakistan Punjab", *Fiji Agric. J*, 54: 48-52, 2014.
- SHUKLA, M.K.; SHUKLA, A.K.; SINGH, S.: "Direct Seeded Rice: An Alternative Rice Establishment Method Over Conventional Transplanted Puddled Rice", *Recent Advances in Biology and Medicine*, 7(1): 1-6, 2021, ISSN: 2378-654X.

- SINGH, A.; CHAKRABORTI, M.: "Water and nitrogen use efficiency in SRI through AWD and LCC", *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(12): 2059-2063, 2019, ISSN: 2394-3319, DOI: <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i12.96274>.
- SINGH, B.; MISHRA, S.; BISHT, D.S.; JOSHI, R.: "Growing rice with less water: Improving productivity by decreasing water demand", En: *Improving Productivity by Decreasing Water Demand. Rice Improvement, 2021, Growing Rice with Less Water*, pp. 147-170, 2021, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66530-2_5.
- SINGH, S.: *Profitable rice farming through system of rice intensification (SRI) under conservation agriculture*, Ed. ICAR Research Complex for Eastern Region, Patna, Conservation Agriculture Mitigating Climate Change Effects and Doubling Farmers' Income, Mishra, J.S. et al., eds ed., 233-237 p., 2018.
- SOLIMAN, N.Y.; AFIFI, M.M.; ABU-ELMAGD, E.; ABOU-BAKER, N.; IBRAHIM, M.M.: "Hydro-physical, biological and economic study on simply, an environment-friendly and valuable rice straw-based hydrogel production", *Industrial Crops and Products*, 201: 116850, 2023, ISSN: 0926-6690.
- SOMAN, P.: "Drip Irrigation and Fertigation Technology for Rice Production Leading to Higher Water Productivity", *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 10(2): 70-77, 2021, ISSN: 2079-7079.
- SPANU, A.; VALENTE, M.; LANGASCO, I.; LEARDI, R.; ORLANDONI, A.M.; CIULU, M.; DEROMA, M.A.; SPANO, N.; BARRACU, F.; PILO, M.I.: "Effect of the irrigation method and genotype on the bioaccumulation of toxic and trace elements in rice", *Science of The Total Environment*, 748: 142484, 2020, ISSN: 0048-9697, DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142484>.
- STEVENS, G.; RHINE, M.; HEISER, J.: "Rice production with furrow irrigation in the Mississippi river delta region of the USA", *Rice Crop: Current Developments; Shah, F., Khan, ZH, Iqbal, A., Eds. : 69-82*, 2018.
- SURENDRAN, U.; RAJA, P.; JAYAKUMAR, M.; SUBRAMONIAM, S.R.: "Use of efficient water saving techniques for production of rice in India under climate change scenario: A critical review", *Journal of Cleaner Production*, 309: 127272, 2021, ISSN: 0959-6526, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127272>.
- UDDIN, M.T.; DHAR, A.R.: "Assessing the impact of water-saving technologies on Boro rice farming in Bangladesh: economic and environmental perspective", *Irrigation Science*, 38(2): 199-212, 2020, ISSN: 0342-7188.
- VALDIVIEZO, E.W.; HERÁN, R.E.; VIVAS, M.L.: "Impacto del sistema intensivo de cultivar arroz (SICA) en el Ecuador", *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2): 11198-11213, 2023, ISSN: 2707-2215.
- VEDOVELLO, P.; SANCHES, L.V.; DA SILVA, T.G.; MAJARON, V.F.; BORTOLETTO, S.R.; RIBEIRO, C.; PUTTI, F.F.: "An Overview of Polymeric Hydrogel Applications for Sustainable Agriculture", *Agriculture*, 14(6): 840, 2024, ISSN: 2077-0472, DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14060840>.
- VIJAYAKUMAR, S.; CHOUDHARY, A.K.; DEIVEEGAN, M.; THIRUMALA KUMAR, R.; KUMAR, R.M.: "Android based mobile application for rice crop management", *Chronicle of Bioresource Management*, 6(Mar, 1): 019-024, 2022a.
- VIJAYAKUMAR, S.; KUMAR, D.; RAMESH, K.; JINGER, D.; RAJPOOT, S.K.: "Effect of Potassium fertilization on water productivity, irrigation water use efficiency, and grain quality under direct seeded rice-wheat cropping system", *J. Plant Nutr.*, 45: 2023-2038, 2022b.
- WEI, Q.; XU, J.; SUN, L.; WANG, H.; LV, Y.; LI, Y.; HAMEED, F.: "Effects of straw returning on rice growth and yield under water-saving irrigation", *Chilean journal of agricultural research*, 79(1): 66-74, 2019, ISSN: 0718-5839, DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392019000100066>.
- WICHADIST, B.; INTRMAN, A.; PUTTRAWUTICHA, S.; REWTRAGULPAIBUL, C.; CHUANPONGPANICH, S.; SUKSAROJ, C.: "The effect of irrigation techniques on sustainable water management for rice cultivation system-a review", *Applied Environmental Research*, 45(4), 2023, ISSN: 2287-075X, DOI: <https://doi.org/10.35762/AER.2023024>.
- ZENG, Y.-F.; CHEN, C.-T.; LIN, G.-F.: "Practical application of an intelligent irrigation system to rice paddies in Taiwan", *Agricultural Water Management*, 280: 108216, 2023, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108216>.
- ZHANG, W.; TIAN, Y.; FENG, Y.; LIU, J.; ZHENG, C.: "Water-Saving Potential of Different Agricultural Management Practices in an Arid River Basin", *Water*, 14(13): 2072, 2022, ISSN: 2073-4441, DOI: <https://doi.org/10.3390/w14132072>.

Calixto Domínguez-Vento. Dr.C., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353.

Enrique Cisneros-Zayas. Dr.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353. e-mail: enrique.cisneros@iagric.minag.gob.cu.

Julián Herrera-Puebla. Dr.C., Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, (IAgric), Carretera de Fontanar, km 2 1/2, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba. Teléf.: (53) (7) 645-1731; 645-1353. e-mail: julian.herrera@iagric.minag.gob.cu.

Michel Ruiz-Sánchez. Dr.C., Investigador y Profesor Titular, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: mich@inca.edu.cu.

Alexander Miranda-Caballero. Dr.C., Investigador y Profesor Titular, Director General Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: alex@inca.edu.cu.

Pedro Paneque-Rondón. Dr.C. Profesor e Investigador Titular. Universidad Agraria de La Habana, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. e-mail: paneque@unah.edu.cu.

Rafael Amado Martín-Fernández. Máster en Ciencias, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba. e-mail: martinrafael1830@gmail.com.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.