

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Técnicas de riego no convencionales para el uso eficiente del agua y la mitigación de la variabilidad climática en el cultivo de arroz

Use of non-conventional irrigation techniques for efficient water use to mitigate the effects of climate variability on rice cultivation

Ronald Ricardo Martínez-Vega ^{1,2}; Sofiane Ouazaa ²; Nesrine Chaali ²; Camilo Ignacio Jaramillo-Barrios ²; John Edinson Calderón Carvajal ²; José Isidro Beltrán Medina ²; Óscar Barrero Mendoza ³; Tom De Swaef ⁴

¹Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia; ²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia, Centro de Investigación Nataima, Espinal, Tolima, Colombia; ³Universidad de Ibagué, Tolima, Colombia; ⁴ILVO Vlaanderen, Melle, Bélgica.

RESUMEN. El arroz es el cultivo de mayor importancia en el departamento del Tolima; sin embargo, presenta un alto consumo de agua por cuenta de las prácticas agrícolas ineficientes. Por esta razón, el empleo de técnicas de riego no convencionales surge como una estrategia para fomentar el uso eficiente del agua, especialmente, en los lugares que cuentan con condiciones de variabilidad climática y que afectan la disponibilidad hídrica. Para este fin, se compararon tres técnicas de riego —convencional; de múltiples entradas (MIRI, por sus siglas en inglés); y alternado húmedo y seco (AWD, por sus siglas en inglés)— en términos de productividad hídrica y de rendimiento del cultivo, en el periodo de dos ciclos de cultivo. Se observó que el uso de las técnicas de riego por MIRI y AWD permite reducir el consumo de agua en los cultivos de arroz hasta en un 54 % sin afectar el rendimiento, generando una mayor productividad hídrica en comparación con el riego convencional. De acuerdo con los resultados de este trabajo, es posible reducir el uso de agua de riego en el cultivo de arroz sin afectar su rendimiento.

PALABRAS CLAVE: productividad hídrica, riego por múltiples entradas, riego alternado húmedo seco.

ABSTRACT. Rice is the most important crop in the Tolima region. However, this crop has high water consumption due to inefficient agricultural practices. Therefore, the use of non-conventional irrigation techniques emerges as a strategy for efficient water use, especially in conditions of climatic variability that affect water availability. Three irrigation techniques were compared—conventional, Multiple Inlet Rice Irrigation (MIRI), and Alternate Wetting and Drying (AWD)—in terms of water productivity and crop yield, during two crop cycles. It was observed that the use of MIRI and AWD irrigation techniques allows for reducing water consumption in rice cultivation by up to 54% without affecting yield, which leads to greater water productivity with these techniques compared to conventional irrigation. According to the results of this study, it is possible to reduce irrigation water use in rice cultivation without affecting yield.

KEYWORDS: alternate wetting and drying, multiple inlet irrigation, water productivity.

Para citar este artículo: Martínez-Vega, R. R., Ouazaa, S., Chaali, N., Jaramillo-Barrios, C. I., Calderón Carvajal, J. E., Beltrán Medina, J. I., Barrero Mendoza, O. & De Swaef, T. (2023). Riego eficiente en el cultivo de arroz: Evaluación de las técnicas MIRI y AWD en el Tolima. *Ciencias Agropecuarias* 9(1), 61-71. <https://doi.org/10.36436/24223484.563>



Recibido: 9/10/2022 Aceptado: 23/11/2022 Publicado en línea: 10/02/2023

Contacto: Ronald Ricardo Martínez-Vega - rrmartinezv@unal.edu.co

Introducción

El cultivo de arroz abarca cerca de 200 000 000 de hectáreas (ha) en 114 países del mundo, siendo India el país con una mayor área sembrada, seguido de China y Bangladesh; no obstante, China presenta la mayor producción a nivel mundial con más de 210 000 000 toneladas anuales (1). En Colombia, el área sembrada en el 2021 fue de 544 635 ha, con una producción superior a las 3 300 000 toneladas anuales (2).

Se estima que el cultivo de arroz hace uso del 30 % del total de agua destinada a la agricultura (3), debido a que es cultivado mediante la práctica de inundación. Por lo tanto, hace uso de técnicas de riego ineficientes, en donde se aplica agua de forma homogénea en el terreno, sin tener en cuenta la variabilidad y heterogeneidad del suelo (4, 5).

Por cuenta de la variabilidad climática, principalmente de los fenómenos de El Niño y La Niña, se ha proyectado que se presentará una reducción del 10 % en el rendimiento de los cultivos como el arroz en la zona andina de Colombia (6) y que para el 2050, Colombia verá reducida la disponibilidad del terreno apto para este tipo de cultivo, hasta en un 60 % (7). Lo anterior se relaciona con el hecho de que la mayoría de los sistemas agrícolas captan el agua para el riego directamente de afluentes y de cuerpos de agua superficiales, que son más susceptibles a la reducción de las precipitaciones y el incremento de las temperaturas por cuenta de la variabilidad climática, llevando a una reducción en su caudal y, por tanto, a una reducción de la oferta hídrica (8).

Por esta razón, existen diversas tecnologías para la programación y distribución del riego de forma eficiente (4); sin embargo, los elevados costos hacen que sean poco accesibles para pequeños productores. Por ello es necesario implementar técnicas que permitan una mejor distribución y programación del riego y que sean accesibles para pequeños y medianos productores.

El proyecto RiceClimaRemote, desarrollado de manera conjunta por tres centros de investigación: la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), la Universidad de Ibagué (Unibagué) y el Flanders Research Institute for Agriculture, Fisheries and Food (ILVO, Bélgica), cuentan con una amplia experiencia en el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías para el agro. Razón por la que el proyecto

RiceClimaRemote tiene por objetivo el desarrollo e implementación de prácticas de riego para el cultivo del arroz en el departamento del Tolima, con el fin de obtener una producción estable en condiciones de variabilidad climática. Dentro de los trabajos realizados en el marco del proyecto se comparó el uso de agua que tiene cada una de las tres técnicas de riego, así como el rendimiento del cultivo de arroz.

Técnicas de riego

En la técnica de riego convencional de distribución por gravedad, la distribución del agua se realiza, generalmente, por una única entrada en la parte superior del lote y requiere de un operario regador especializado para ir adecuando el lote, de tal manera que permita la distribución del agua a medida que avanza hasta la parte baja del cultivo. En el punto de entrada de agua al lote, se generan grandes pérdidas del líquido a causa de la percolación, alcanzando valores de hasta un 87 % del total de agua aplicada (9), teniendo en cuenta que el suelo ya está saturado y sigue entrando agua, como se muestra en la Figura 1. El 75 % del arroz cultivado a nivel mundial se irriga mediante esta técnica, principalmente en los países de Asia donde se concentra la mayor producción de arroz (10).

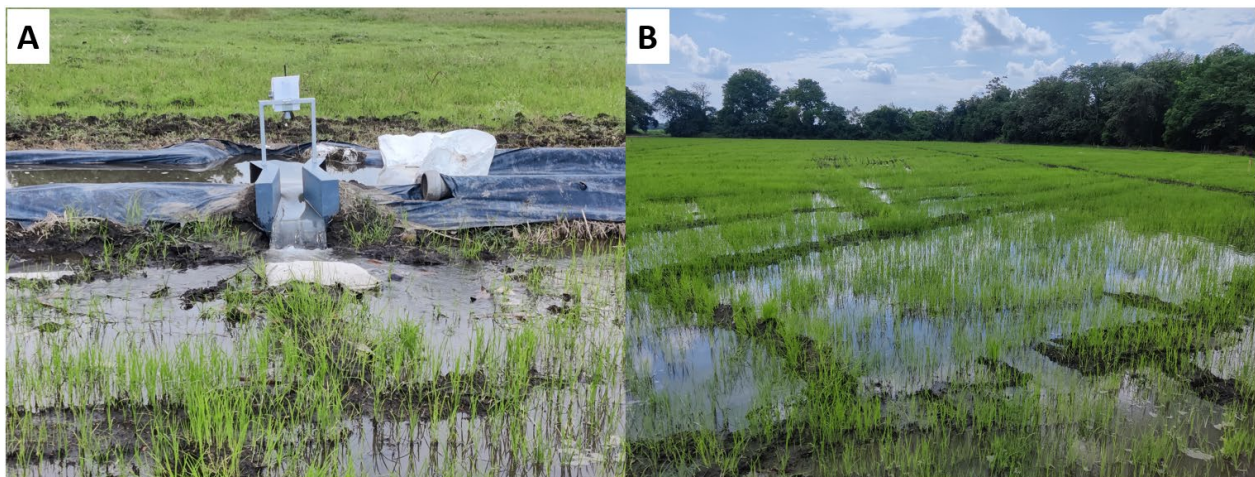


Figura 1. (A.) Punto de ingreso de agua y (B.) Melgas superiores en lote de arroz irrigado por técnica convencional

Fuente: elaboración propia

Ahora bien, la técnica de riego por múltiples entradas (MIRI) hace uso de una manguera de polietileno que atraviesa el lote de forma perpendicular a los caballones. La manguera presenta unas ventanillas que se pueden abrir o cerrar a conveniencia del terreno, de manera que se puede irrigar todo el lote de forma simultánea o solo a aquellas partes en las que se requiera, como se muestra en la Figura 2 (11).

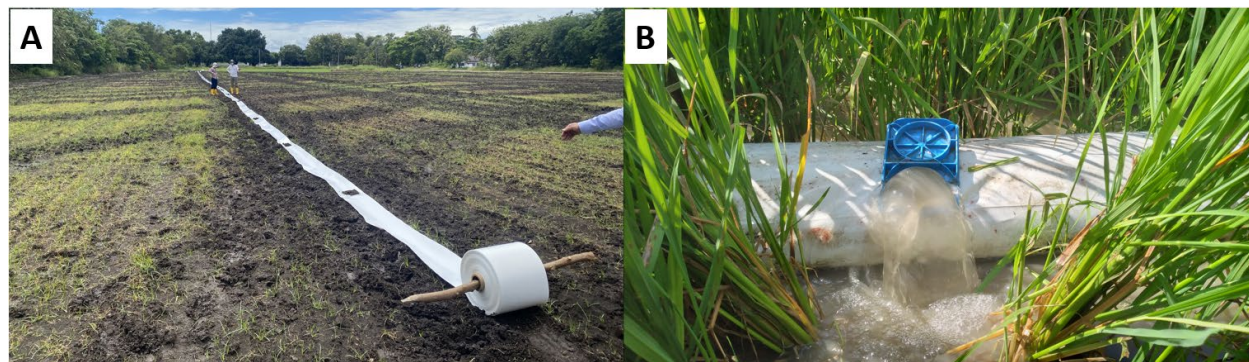


Figura 2. (A.) Manguera de polietileno para distribución de agua y (B.) Ventanilla de control para salida de agua en lote de arroz irrigado por técnica MIRI.

Fuente: elaboración propia

Con esta tecnología se reduce el tiempo de irrigación, permitiendo la aplicación de manera directa en la parte baja del lote, sin la necesidad de esperar que las melgas superiores se inunden. Al tener un sistema de transporte de agua de baja presión no se requiere bombeo y la manguera puede ser reutilizada para varios ciclos de cultivo, reduciendo los costos en comparación con otros sistemas de riego (12). Este método sirve para reducir hasta en un 24 % el volumen de agua aplicada (13). En Colombia, el uso de la técnica MIRI ha generado una reducción del 30 % en el consumo del agua, sumado a la reducción obtenida con la implementación de las prácticas del programa Adopción Masiva de Tecnología (AMTEC) de Fedearroz (14).

Por otra parte, el riego alternado húmedo-seco (AWD) se basa en que la aplicación del riego se realiza en el momento en el que la humedad del suelo alcanza cierto umbral, con lo cual se diferencia del sistema convencional, donde el cultivo de arroz se mantiene la mayor parte del tiempo bajo condiciones de anegamiento. Con el fin de hacer un monitoreo de la humedad del suelo sin el uso de sensores —que tienen elevados costos para el

productor—, normalmente se inserta en el suelo, a unos 20 a 30 cm de profundidad, un tubo perforado de PVC, de 7 a 15 cm de diámetro y de 40 cm de largo para monitorear la lámina de agua en el terreno, como se muestra en la Figura 3 (15, 16).

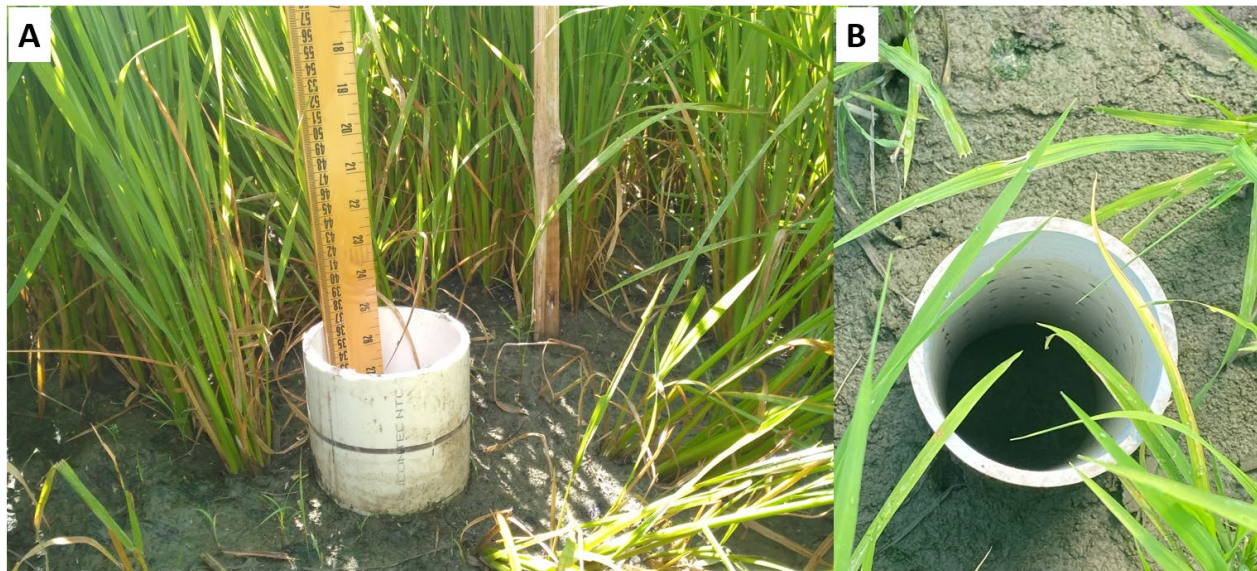


Figura 3. (Izq.) Vista lateral y (Der.) Vista superior de tubo indicador en lote de arroz irrigado por técnica AWD.

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el nivel de humedad al que se deja secar el suelo, representado por la altura de la lámina de agua en el tubo, se ha clasificado el AWD en tres categorías: como seguro o ligero (<15 cm por debajo del nivel del suelo); moderado (15 – 25 cm); y severo (>25cm) (17). La AWD ha sido adoptada en países productores como China, India y Filipinas, donde se reporta una reducción en el consumo del agua de hasta el 35 % (16). En Colombia, estudios preliminares de la implementación de este método, junto con un adecuado manejo del suelo, han mostrado reducciones de hasta un 42 % en el consumo del agua (18).

Dentro de las condiciones experimentales que se dieron en el centro de investigación Nataima de Agrosavia (Espinal, Tolima), no fue posible mantener el cultivo de arroz en condiciones de anegamiento continuo por más de cinco horas luego de suspender el riego, lo cual causó que no se viera la lámina de agua en los tubos indicadores después de este tiempo. La textura del suelo en el lote experimental fue franco-arenosa (A:67 %; Ar:14 %; L:19 %), se reportaron valores de infiltración de 20 a 30 mm/h (19). La imposibilidad de mantener

Ronald Ricardo Martínez-Vega, Sofiane Ouazaa, Nesrine Chaali, Camilo Ignacio Jaramillo-Barrios, John Edinson Calderón Carvajal, José Isidro Beltrán Medina, Óscar Barrero Mendoza y Tom De Swaef
el anegamiento en cultivos de arroz, sembrados en suelos con textura franco-arenosa, ha sido previamente reportada (20). Debido a esto y con el fin de realizar ciclos de alternado húmedo-seco, la humedad del suelo fue monitoreada usando sensores de humedad TDR 350 (21) y Diviner 2000 (22).

Consumo de agua en el cultivo de arroz bajo tres técnicas de riego

Las tres técnicas de riego fueron comparadas durante dos ciclos de cultivo de arroz (2021-2022), en donde se evaluó el consumo de agua al usar cada una. Para cuantificar el consumo se utilizaron canaletas tipo Parshall junto con un sensor ultrasónico, con el fin de determinar el caudal de entrada y cuantificar la lámina de agua aplicada (ver Figura 4). El uso de este método hace posible realizar un monitoreo sin estar presente en el sitio de producción, dado que el sensor esta provisto de tecnología inalámbrica para enviar la información a una estación, la cual, a su vez, está conectada a internet, por lo cual se puede tener acceso a los datos desde cualquier parte del mundo que tenga conexión a internet.



Figura 4. (A.) Canaleta tipo Parshall y (B.) Sensor ultrasónico para determinar caudal de riego
Fuente: elaboración propia

La cantidad de agua aplicada con la técnica de riego convencional fue mayor que la aplicada con las técnicas MIRI y AWD, en esta última, se observaron reducciones desde el 34 % hasta un 54 % (ver Tabla 1). Respecto a los eventos de riego, no se registraron cambios en los cultivos en relación con la técnica de riego usada. La cantidad de riego aplicada en el ciclo de 2022 fue menor, en comparación con el ciclo de 2021, lo cual está asociado con una

mayor precipitación y una mejor distribución de las lluvias a lo largo del ciclo de cultivo en el 2022. En el 2021 se registraron días de lluvia con valores de hasta 113 mm, los cuales se vinculan a los efectos de la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

Por otro lado, en la temporada seca es común que los productores no puedan regar el lote en su totalidad, a causa de la ventana de tiempo impuesta por el Distrito de Riego y deban priorizar la zona a regar. El uso de las técnicas MIRI y AWD permiten una mejor programación del riego y una aplicación más rápida y eficiente en sus lotes e incluso, tienen la posibilidad de ampliar el área sembrada con un consumo de agua menor al del riego convencional.

Tabla 1. Uso de agua con tres técnicas de riego durante dos ciclos de cultivo de arroz.

Técnica de riego	Ciclo de cultivo	Riego aplicado		Reducción de riego (%)	Eventos de riego	Precipitación (mm)	Precipitación efectiva (mm)
		m ³ /ha	mm				
MIRI	2021	4573	457,3	54,03	20	521,4	331,6
AWD		5179	517,9	47,93	24		
Convencional		9948	994,8	---	23		
MIRI	2022	2640	264	34,76	9	549	353,6
AWD		2319	213,9	42,69	10		
Convencional		4047	404,7	---	14		

Fuente: elaboración propia

Rendimiento del cultivo

Al comparar el rendimiento del cultivo no se observaron diferencias entre las tres técnicas de riego, lo que demuestra que la reducción en la cantidad de agua aplicada, como resultado de una aplicación más eficiente, no implica un menor rendimiento en el cultivo del arroz. En consecuencia, esto generó una menor productividad del agua con la técnica de riego convencional, donde hay menor producción de grano por metro cúbico de agua en el cultivo (ver Figura 5).

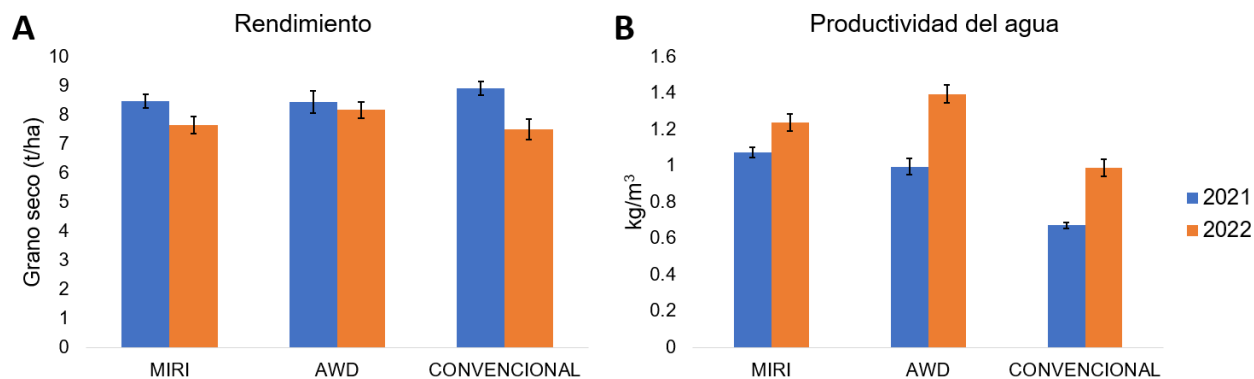


Figura 5. Rendimiento y productividad del agua en el cultivo de arroz usando tres técnicas de riego. La productividad del agua corresponde a kg de grano por m³ de agua que ingresa al cultivo (irrigación + precipitación efectiva). Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Las técnicas de riego MIRI y AWD permitieron reducir el consumo del agua en comparación con la técnica convencional, sin que esta reducción en el uso del agua afectara el rendimiento del cultivo. La implementación de estas técnicas no requiere mayor infraestructura, como se demostró en los apartados anteriores; aunque su costo inicial es superior al del riego convencional, resultan más económicas a largo plazo. La inversión se justifica, teniendo en cuenta que la variabilidad climática y la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos, que son cada vez más frecuentes, afectan el rendimiento de los cultivos e impactan negativamente la economía de los agricultores.

El uso de las técnicas MIRI y AWD generó una mayor productividad hídrica, fomentando una mejor gestión del riego para mitigar los efectos de la variabilidad climática. Así también, permiten dar mayor estabilidad al rendimiento de los cultivos a través del tiempo y alinearse con la necesidad mundial de producir más con menos agua.

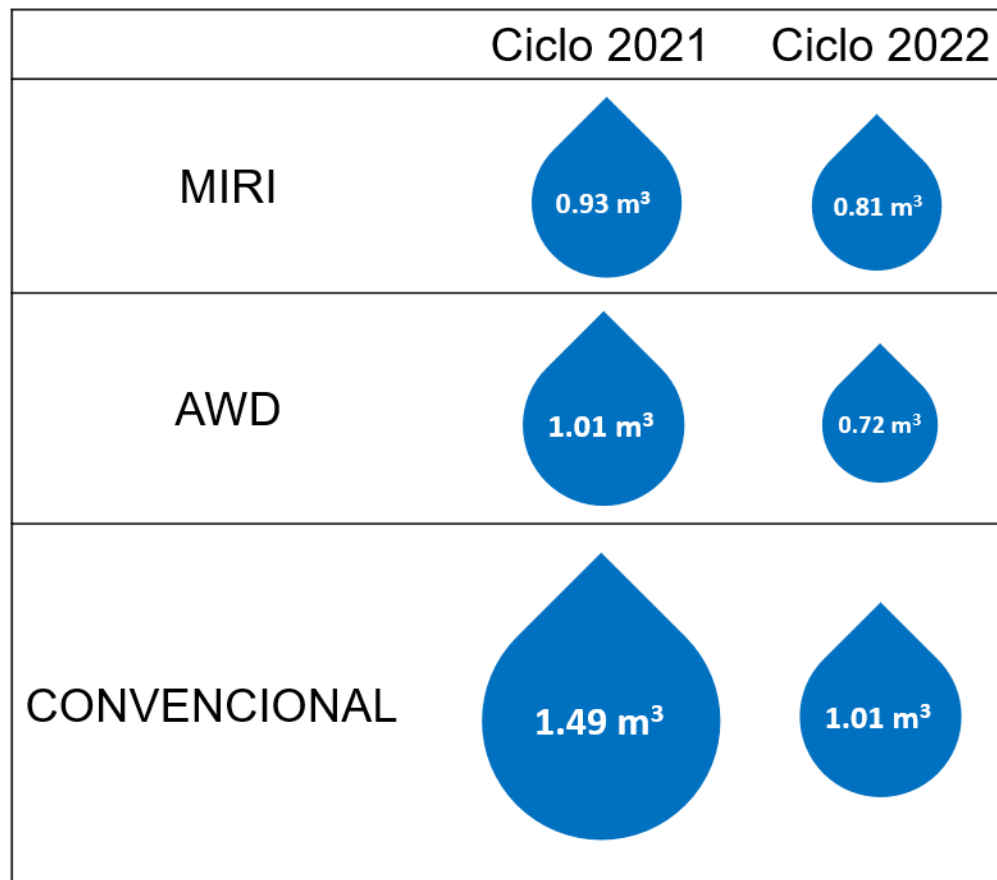


Figura 6. Requerimiento de agua para la producción de un kilo de grano de arroz.
Fuente: elaboración propia

Agradecimientos

Este trabajo está enmarcado dentro del proyecto “Manejo por sitio específico del agua de riego, el nitrógeno y las malezas en el sistema de producción de arroz, maíz-algodón en el departamento del Tolima”, código interno 1001643, Fase III (RiceClimaRemote), mediante convenio de 2018 entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), el Flanders Research Institute for Agriculture, Fisheries and Food (ILVO) y la Universidad de Ibagué (Unibagué). Los autores expresan su agradecimiento al gobierno de la región de Flandes, Bélgica y a las instituciones anteriormente mencionadas, por la financiación de este proyecto. Adicionalmente, un agradecimiento especial a la profesora Sarah Garré, Ph. D., por su colaboración en la interpretación de los datos de este trabajo.

Declaración de divulgación

Los autores declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el artículo. No se emplearon herramientas de generación de contenido por inteligencia artificial para la elaboración del artículo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por el International Climate Fund, Flemish Government, Belgica; Flanders Research Institute for Agriculture, Fisheries and Food, Melle, Belgica; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia; y Universidad de Ibagué – Unibague, a través del proyecto "Rice remote monitoring: climate change resilience and agronomical management practices for regional adaptation, RiceClimaRemote".

Referencias

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT Statistical Database [Internet]. [citado en 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
2. Federación Nacional de Arroceros (Fedearroz). Estadísticas Arroceras [Internet]. [citado en 2023]. Disponible en: http://www.fedearroz.com.co/new/apr_public.php
3. Liu M, Lin S, Dannenmann M, Tao Y, Saiz G, Zuo Q, et al. Do water-saving ground cover rice production systems increase grain yields at regional scales? Field Crops Res. 2013;150:19-28.
4. González BM, Alonso AM. Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz. Nova. 2016;14(26):111-26.
5. Datta A, Ullah H, Ferdous Z. Water Management in Rice. En: Chauhan B, Jabran K, Mahajan G, editores. Rice Production Worldwide. Springer, Cham; 2017.
6. Lobell DB, Cassman KG, Field CB. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. Annu Rev Environ Resour. 2009;34:179-204.
7. Castro-Llanos F, Hyman G, Rubiano J, Ramirez-Villegas J, Achicanoy H. Climate change favors rice production at higher elevations in Colombia. Mitig Adapt Strateg Glob Change. 2019;24:1401-30.
8. García MC, Piñeros Botero A, Bernal Quiroga FA, Ardila Robles E. Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. Rev Ing. 2012;(36):60-4.

9. LaHue GT, Linquist BA. The contribution of percolation to water balances in water-seeded rice systems. *Agric Water Manag.* 2021;243:106445.
10. Nawaz A, Rehman AU, Rehman A, Ahmad S, Siddique KHM, Farooq M. Increasing sustainability for rice production systems. *J Cereal Sci.* 2022;103:103400.
11. Vories ED, Tacker PL, Hogan R. Multiple inlet approach to reduce water requirements for rice production. *Appl Eng Agric.* 2005;21(4):611-6.
12. Pineda DF, Castilla LA, Sáenz JA, Saavedra WA. Diseño e implementación del sistema de riego en arroz por múltiples entradas en Colombia “MIRI” (Multiple Inlet Rice Irrigation). Adopción Masiva de Tecnología (AMTEC) [Internet]. Bogotá: Fedearroz; 2022 [citado en dic. 2022]. Disponible en: <https://tinyurl.com/56tr4d2m>
13. Massey JH, Reba ML, Adviento-Borbe MA, Chiu YL, Payne GK. Direct comparisons of four irrigation systems on a commercial rice farm: Irrigation water use efficiencies and water dynamics. *Agric Water Manag.* 2022;266:107606.
14. Guzmán MP, Sánchez AM, Hernández FJ. AMTEC alternativa para la competitividad y sostenibilidad. *Arroz.* 2020;68(549):27-31.
15. Carrijo DR, Lundy ME, Linquist BA. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. *Field Crops Res.* 2017;203:173-80.
16. Mote K, Rao VP, Ramulu V, Kumar KA, Devi MU. Performance of rice (*Oryza sativa* (L.)) under AWD irrigation practice—A brief review. *Paddy Water Environ.* 2021;20:1-21.
17. Lampayan RM, Samoy-Pascual KC, Sibayan EB, Ella VB, Jayag OP, Cabangon RJ, et al. Effects of alternate wetting and drying (AWD) threshold level and plant seedling age on crop performance, water input, and water productivity of transplanted rice in Central Luzon, Philippines. *Paddy Water Environ.* 2015;13:215-27.
18. Rojas A, Hernández F, Cuellar C, Quintero D, Garcés G, Saavedra E, et al. Resiliencia frente al cambio climático, otro logro del AMTEC. *Arroz.* 2021;69(552):12-27.
19. Brouwer C, Prins K, Heibloem M. Irrigation water management: Training manual no. 4: Irrigation scheduling. Roma: FAO; 1985.
20. Hatiye SD, Prasad KH, Ojha C. Water balance and water productivity of rice paddy in unpuddled sandy loam soil. *Sustain Water Resour Manag.* 2017;3:109-28.
21. Spectrum Technologies, Inc. Fieldscout TDR 350. Medidor de Humedad de Suelos. Manual del producto [Internet]. 2017. Disponible en: <https://tinyurl.com/4xba7dje>
22. Sentek Pty Ltd. Diviner 2000 [Internet]. Disponible en: <https://tinyurl.com/4wxw9fxu>