

# Tecnologías para la producción de arroz: recomendaciones para el Perú basadas en investigaciones científicas

## Technologies for rice production: Recommendations for Peru based on scientific research

Elizabeth Consuelo Heros Aguilar<sup>1\*</sup>, Flavio Lozano-Isla<sup>1</sup> y Andrés Virgilio Casas Díaz<sup>2</sup>

1 Facultad de Agronomía, Departamento Académico de Fitotecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

2 Facultad de Agronomía, Departamento Académico de Horticultura, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.



**Citar como:** Heros Aguilar et al. (2023). «Tecnologías para la producción de arroz: recomendaciones para el Perú basadas en investigaciones científicas». *South Sustainability*, 4(1), e069.

DOI: 10.21142/SS-0401-2023-e069

Artículo recibido: 21/11/2022

Revisado por pares

Artículo aceptado: 5/1/2023

El presente manuscrito fue seleccionado y presentado en el evento «Diálogos académicos: aportes de la ciencia a nuestro desafío climático, 3.ª ed.» (junio de 2022), organizado por el Ministerio del Ambiente (Minam) y el Grupo Impulsor de Acción Climática de la Academia.



© Los autores, 2023. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

\* E-mail de correspondencia:

lizheros@lamolina.edu.pe

### RESUMEN

Los problemas futuros de producción de arroz están relacionados con el calentamiento global y la escasez de agua como consecuencia del cambio climático. Para una producción eficiente y sustentable en el cultivo de arroz, deben modificarse el manejo de riego por inundación y las altas aplicaciones de nitrógeno. Entre las principales recomendaciones se incluye la incorporación del fertilizante nitrogenado en las fases críticas del cultivo y el uso de siembra directa en suelo seco, en lugar del método de trasplante. El presente manuscrito reúne también recomendaciones para mejorar la eficiencia agronómica y el uso del nitrógeno en el cultivo de arroz. Las recomendaciones técnicas mencionadas deben implementarse a fin de mejorar la productividad del cultivo y fortalecer la seguridad alimentaria.

**Palabras clave:** cambio climático, ahorro de agua, nitrógeno, siembra directa, productividad

### ABSTRACT

Future rice production problems will be related to global warming and water scarcity due to climate change. For efficient and sustainable rice production, flood irrigation management and high nitrogen application rates must be modified. The main recommendations include the incorporation of nitrogen fertilizer at critical stages of crop growth, and the use of direct seeding in dry soil to replace the transplanting method. This article brings together recommendations for improving agronomic efficiency and nitrogen use in rice cultivation. The introduction of these measures is recommended in order to improve crop productivity and strengthen food security.

**Keywords:** climate change, water efficiency, nitrogen, direct sowing, productivity



## Introducción

El arroz es uno de los tres cereales más importantes en el Perú por su contribución en la alimentación. En los últimos cinco años, se han sembrado en promedio 417 735 ha, con un rendimiento promedio de 7992 kg ha<sup>-1</sup> (Midagri, 2022). Los rendimientos más altos se obtuvieron en la costa (10 230 kg ha<sup>-1</sup>), con altos consumos de agua, de hasta 1080 L kg<sup>-1</sup> de arroz cáscara (ANA, 2015) y altas aplicaciones de nitrógeno (N), de 200 a 320 kg N ha<sup>-1</sup>.

El cambio climático afecta negativamente los rendimientos en el cultivo de arroz por la ocurrencia de sequía y los cambios en el inicio de las lluvias, frecuencia de las precipitaciones, duración y volumen, lo que ocasiona retrasos en el inicio de las siembras, reduce la superficie y disminuye los rendimientos. Las altas temperaturas aminoran el rendimiento por acortar los periodos de maduración, y las temperaturas bajas (inferiores a 20 °C) incrementan la esterilidad de las espiguillas y reducen los rendimientos.

Las aplicaciones de altas concentraciones de nitrógeno en el cultivo de arroz incrementan las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>), gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global, ya que modifica el ambiente biótico con resurgencia y presencia de nuevas plagas y enfermedades. Por otro lado, las aplicaciones de agua contribuyen al levantamiento de la napa freática, que ocasionan la salinización progresiva de los suelos de las partes bajas de los valles. El sistema de siembra al trasplante, que requiere del batido de los suelos, es una práctica común en los campos de arroz a nivel de almáximo y de campo definitivo, e impacta negativamente en el ambiente y afecta la estructura del suelo. El sistema de siembra al trasplante es la forma más predominante de sembrar arroz en el Perú; en ella las plántulas en sus etapas juveniles crecen en un almáximo y cuando tienen una edad óptima son extraídas y colocadas en campo definitivo en forma manual o mecanizada (figura 1A) (Salhuana y Sánchez, 1969). La siembra directa consiste en colocar la semilla en el campo definitivo hasta la etapa de cosecha (figura 1B). La incorporación del 50 % de nitrógeno al suelo antes del trasplante mejora la eficiencia de uso de nitrógeno (figura 1C).

De no darse solución a los problemas mencionados, generarán impactos negativos al agroecosistema en detrimento de la sustentabilidad de los sistemas alimentarios y se incumplirían los compromisos nacionales para enfrentar el cambio climático. La reducción del uso de agua en la agricultura se alinea a la medida de mitigación «Contribuciones Nacionalmente Determinadas - NDC AGRI 5»: sistemas de secas intermitentes en el cultivo de arroz para la disminución de gases de efecto invernadero GEI (Minam, 2019). Esta medida está relacionada con la eficiencia de los sistemas de riego y drenaje de los valles arroceros, donde existen sectores del sistema de drenaje destruidos, que no cumplen su función. La distribución del agua registra pérdidas por conducción y los canales secundarios están sin revestimiento, por lo que se incrementan las pérdidas por percolación. Las políticas públicas no priorizan la solución de las deficiencias de estos sistemas, como la carencia de mantenimiento de canales y drenes, y la mejora de la estructura de riego y drenaje. Para estas mejoras se requiere de inversión del Estado, considerando que los productores son parte de una agricultura familiar. Todo esto hace necesaria la implementación de ajustes en el manejo de este cereal, basada en investigaciones científicas.

## Enfoque y discusión

### *Eficiencia de uso de nitrógeno*

Estudios realizados para mejorar la eficiencia de uso de nitrógeno (Dobermann, 2007) indican que la incorporación parcial o del 50 % de nitrógeno al suelo antes del trasplante (forma 2) incrementa los rendimientos en grano en mayor proporción que la incorporación total del 100 % (forma 1), y al método tradicional en que los agricultores en la forma tradicional (forma 3) aplican el fertilizante nitrogenado (urea o sulfato de amonio) en capa de agua después del prendimiento de las plántulas, aproximadamente a los 15 días después del trasplante. En la forma 2, se aplica el 50 % del nivel de nitrógeno en la preparación del suelo en seco y el 50 % restante al inicio de la fase reproductiva, con resultados superiores a los otros métodos. Esta aplicación de nitrógeno suministra a las plantas el nitrógeno requerido para estimular la formación de nuevos tallos e incrementar la masa foliar



**Figura 1. A.** Trasplante en campo definitivo. **B.** Siembra directa en campo. **C.** Incorporación del 50 % de la fertilización nitrogenada al suelo antes de la siembra.

y mayor absorción de la radiación. Los niveles que se estudiaron fueron: 0-120-240 y 320 kg N ha<sup>-1</sup>. En la figura 2, se observa que el mayor rendimiento se alcanzó con la forma 2.



**Figura 2.** Estudio del rendimiento en tres diferentes formas de aplicación de nitrógeno en el cultivo de arroz (Heros, 2019).

La eficiencia agronómica y fisiológica son indicadores de la eficiencia de uso de nitrógeno que permiten conocer los kg de arroz cáscara producidos por cada kg de nitrógeno aplicado y absorbido por la planta.

**Tabla 1.** Eficiencia de uso de nitrógeno para formas de aplicación en el cultivo de arroz

Tratamientos	Eficiencia agronómica Rdto. (nivel dado de N) - Rdto. (nivel 0) / Nivel de N usado	Eficiencia fisiológica Rdto. (nivel dado de N) - Rdto. (nivel 0) / N absorbido (nivel dado) - N absorbido (nivel 0 de N)
F2	26,68 a <sup>(1)</sup>	54,26 a <sup>(1)</sup>
F1	24,80 b <sup>(1)</sup>	38,12 c <sup>(1)</sup>
F3	23,19 c <sup>(1)</sup>	42,54 b <sup>(1)</sup>

(1) Prueba de significación de Duncan al 5 %. Eficiencias con una misma letra no son estadísticamente significativas entre sí (la letra a significa que es estadísticamente superior a b y b es superior a c) y así sucesivamente.  
Nota. Fuente: Heros (2019).

### Efectividad del agua en el cultivo

La tecnología de manejo de agua con alternancia de inundación continua y secado intermitente, usualmente usada en los países asiáticos, fue investigada en condiciones agroecológicas del valle de Chancay, en Lambayeque. Los resultados muestran que es posible disminuir el volumen de agua aplicada al cultivo de arroz (tabla 2). Las diferencias son mínimas en el rendimiento entre el manejo de inundación continua con una lámina de 5-10 cm de agua, en comparación con los periodos de secado intermitente (figura 3), con una productividad de 0,67 y 0,61 kg de arroz cáscara por m<sup>3</sup> de agua aplicada, respectivamente. En la tabla 2, se muestran los periodos de secado con pozas de arroz sin agua.



**Figura 3.** Piezómetro<sup>1</sup> ubicado en los tratamientos para medir el descenso del agua debajo de la superficie del suelo en el cultivo de arroz.

**Tabla 2.** Rendimiento en arroz cáscara de diferentes periodos de secado y productividad del agua

Tratamientos <sup>(2)</sup>	Rendimiento kg ha <sup>-1</sup>	Agua aplicada m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Productividad (Rdto. / m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
T1 - Inundación continua	10 710 a <sup>(1)</sup>	17 570	0,61
T2 - 5 cm en el piezómetro	9730 b <sup>(1)</sup>	14 464	0,67
T3 - 10 cm en el piezómetro	8260 c <sup>(1)</sup>	15 584	0,57

(1) Prueba de significación de Duncan al 5 %. Rendimientos con una misma letra no son significativos entre sí. Cultivar: IR-43 (IR, son las siglas de los cultivares desarrollados por el International Rice Research Institute, IRRI, y son así reconocidas mundialmente).

(2) Tratamientos de descenso del nivel de agua debajo de la superficie del suelo con el piezómetro.

La diferencia del rendimiento entre inundación continua y el descenso del nivel de agua de cinco cm es de 980 kg ha<sup>-1</sup>, pero el volumen de agua descendió en más de 3000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Factores como la profundidad de la napa freática, la textura del suelo y la influencia de los campos vecinos trasplantados son determinantes en los consumos de agua, por lo que el uso de esta tecnología puede reducir el uso de agua de 18 a 27 % y aumentar la productividad. Sin embargo, Jabran *et al.* (2015) mencionan que existe una reducción de los rendimientos del cultivo de 22 a 37 %, mientras que en los trabajos de Heros (2019) la reducción fue mínima (9,15 %) para los tratamientos T1 y T2.

### Manejo de suelo saturado

El manejo de suelo saturado es otra tecnología de manejo de agua en la que el suelo se mantiene con una humedad superior a la de capacidad de campo (suelo con apariencia de barro), equivalente a 0 kilopascales (kPa). La altura de lámina de agua que se mantiene en el campo

<sup>1</sup> El piezómetro es un instrumento que permite medir el descenso del agua de la superficie del suelo.



varía entre 0 a 1 cm y requiere riegos frecuentes y ligeros. En este estudio se aplicó en el manejo de inundación un volumen de 11 660 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, y en el saturado, 8552 m<sup>3</sup>. La diferencia de agua aplicada fue de 3108 m<sup>3</sup>, y la productividad de 0,810 kg de arroz cáscara por m<sup>3</sup> para manejo inundado, de 1,10 kg m<sup>3</sup> para manejo de suelo saturado. Traore et al. (2010) indican que es urgente mejorar la eficiencia de uso de agua de los sistemas de producción, en tanto que Borrel et al. (1997) refieren haber alcanzado una eficiencia de uso entre 24 a 30 %. Para las condiciones de nuestro estudio se obtuvo una eficiencia mayor en 290 g m<sup>3</sup>.

Heros (2019) probó distintos cultivares de arroz, entre los cuales los de Mallares y La Puntilla obtuvieron mejores respuestas y estabilidad, ya sea en campos con inundación o suelo saturado. Los rendimientos fueron similares en inundación y suelo saturado (10 000 kg ha<sup>-1</sup>), lo que indica que no es necesario practicar la inundación continua durante el ciclo del cultivo (trasplante-maduración) para alcanzar rendimientos altos como 10 000 kg ha<sup>-1</sup>.

### Métodos de siembra

Los métodos de siembra influyen en el consumo de agua, manejo de suelos y rentabilidad del cultivo. Los resultados de las investigaciones realizadas muestran que las siembras directas alcanzan mayores rendimientos que los sistemas de trasplante. En promedio, las siembras directas (6230 kg ha<sup>-1</sup>) rindieron 34 % más que los trasplantes (4155 kg ha<sup>-1</sup>) en la investigación realizada *in situ* (tabla 3).

**Tabla 3.** Rendimientos de sistemas de siembra, obtenidos en el valle Jequetepeque (2016)

Tratamientos	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
Siembra directa en hileras	6230
Sistema de trasplante al azar	4155

Cultivar IR-43. Fertilización N-P-K 240-60-60.

Las siembras directas en seco tienen la ventaja de consumir menos agua que el trasplante común que usan los agricultores. No requiere el batido de los suelos antes del trasplante, e impactan positivamente en el ambiente por reducir las emisiones del metano (Pathak et al., 2011). Además, requieren menos mano de obra por hectárea, por lo que reducen los costos de producción, mejoran la rentabilidad del cultivo y adelantan la cosecha, ya que se lleva a cabo entre 8 a 10 días antes que en el sistema de trasplante. El mayor inconveniente es la proliferación de malezas, cuyo control cultural y químico deben realizar los agricultores.

Por otro lado, la campaña de 2016 se caracterizó por la alta incidencia del virus de la hoja blanca, debido a que las condiciones climáticas favorecieron la resurgencia de *Tagosodes orizicolus*. El cultivar IR-43 mostró susceptibilidad al estado de plántula.

### Recomendaciones y opciones de acción

En función de los resultados de nuestros trabajos y lo expuesto, se presentan cuatro recomendaciones:

1. Ajustar las prácticas de manejo de arroz, seleccionando aquellas que promuevan un mayor rendimiento, como la incorporación del nitrógeno en fases críticas y el uso de siembra directa en suelo seco en lugar del método de trasplante.
2. Implementar servicios de extensión público-privado, considerando el mecanismo de obras por impuestos para difundir tecnologías mencionadas en este documento.
3. Promover la formación de organizaciones regionales dirigidas por agricultores líderes con capacidad de gestión, integrados a redes de extensión fomentadas por los gobiernos regionales a los cuales pertenecen los valles arroceros.
4. Generar espacios para intercambio de experiencias y transferencia tecnológica de la academia a sectores como el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri) y el Ministerio del Ambiente (Minam), con el fin de ejecutar trabajos consensuados de investigación enfocados a

la mitigación y adaptación al cambio climático, y al cumplimiento de los compromisos internacionales.

## Referencias bibliográficas

- Autoridad Nacional del Agua, ANA. (2015).** «Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario». Ministerio de Agricultura, Autoridad Nacional del Agua, Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación (COSUDE). Disponible en: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam\\_files/publicaciones/varios/huellahidrica-2015-ana-peru.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/huellahidrica-2015-ana-peru.pdf).
- Borrell, A., Garside, A. y Fukai, S. (1997).** «Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment». *Field Crops Research*, 52, pp. 231-248.
- Dobermann, A. (2007).** «Nutrient use efficiency - measurement and management». En: A. Krauss, K. Isherwood y P. Heffer (eds.), *Fertilizer best management practices: General principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives versus regulations* (pp. 1-28). París: International Fertilizer Industry Association. Disponible en: [https://www.fertilizer.org/images/Library\\_Downloads/2007\\_IFA\\_FBMP%20Workshop\\_Brussels.pdf](https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2007_IFA_FBMP%20Workshop_Brussels.pdf)
- Graterol, E. (2022).** Fondo Latinoamericano de Arroz (FLAR). Comunicación personal.
- Heros, E. (2019).** *Alternativas tecnológicas para contribuir a la sustentabilidad del cultivo de arroz*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3987/heros-aguilar-elizabeth-consuelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Jabran, K., Ebsanullah, M., Hussain, M., Farooq, M., Yaseen, U. y Chauhan, B. (2015).** «Mulching improves water productivity, yield and quality of fine rice under water-saving rice production systems». *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201, pp. 389-400.
- Kapoor, V., Singh, U., Patil, S., Magre., Shrivastava, L, Mishra, V., Das, R., Samadhiya, V., Sanabria, J. y Diamanond, R. (2008).** «Rice growth, grain yield, and floodwater nutrient dynamics as affected by nutrient placement method and rate». *Agronomy Journal*, 100(3), pp. 526-536.
- Ladha, J., Pathak, H., Krupnik, T., Six, J. y van Kessel, C. (2005).** «Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospect and prospects». *Advances in Agronomy*, 87, pp. 85-156.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, Midagri. (2022).** «Estadísticas de arroz». Disponible en: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNDIjNzdiOGYtYmYzZi00YjNhLTg0YWItNDA3OGY5YzIxNjg2IiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS00OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZij9>. 10 de junio del 2022.
- Ministerio del Ambiente, Minam. (2019).** «Catálogo de medidas de mitigación». Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/426371/CATALOGO\\_MITIGACION\\_baja\\_con\\_observaciones\\_levantadas.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/426371/CATALOGO_MITIGACION_baja_con_observaciones_levantadas.pdf)
- Pathak, H., Tewari A., Sankh, Y., Dube, D., Mina, V., Singh, V., Jain, N. y Bhatia, A. (2011).** «Direct-seeded rice: Potential, performance and problem. A review». *Current Advance in Agricultural Science*, 3(2), pp. 77-88.
- Salhuana, A. y Sánchez, P. A. (1969).** Sistemas de cultivos del arroz en el Perú. En *Curso de capacitación para el cultivo de arroz en el Perú, Lambayeque, Perú*.
- Traore, S., Wang, Y. y Kerh T. (2010).** «Artificial neural network for modeling reference evapotranspiration complex process in Sudano-Sahelian zone». *Agricultural Water Management*, 97, pp. 707-714.

