

6. EFECTO DEL MANEJO DEL RIEGO BAJO DOS NIVELES DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN EL CONTENIDO DE ARSÉNICO INORGÁNICO EN EL GRANO DE ARROZ

F. Campos¹, A. Roel², G. Carracelas³, R. Huertas⁴,
M. Verger⁴, M. A. Oxley⁵

PALABRAS CLAVE: arroz, arsénico, As, fósforo, rendimiento, riego.

INTRODUCCIÓN

El arroz es un alimento básico para más de la mitad de la población mundial y una de las principales fuentes de carbohidratos para el ser humano (Meharg *et al.*, 2009). El arsénico (As) es un metaloide asociado a potenciales problemas para la salud humana, como por ejemplo: cáncer, hipertensión, diabetes y nacimientos prematuros (NRC 2001; WHO 2004), particularmente cuando se encuentra en sus formas inorgánicas (iAs). Las principales rutas de exposición del ser humano a este elemento ocurren a través del consumo de arroz o aguas contaminadas (Meacher *et al.*, 2002). Este elemento se encuentra naturalmente en los minerales primarios que conforman la corteza terrestre, y a través de procesos de meteorización y edafización puede llegar a encontrarse de manera natural en suelos y aguas. Cuando el suelo se encuentra en condiciones aeróbicas, el As permanece fuertemente retenido a oxo hidróxidos de Fe y Mn (Seyfferth *et al.*, 2018), lo que reduce su disponibilidad para las plantas. La inundación del cultivo de arroz modifica la especiación química del arsénico, incrementando su biodisponibilidad. Por otra parte, se sabe que las plantas de arroz son

grandes acumuladoras de fósforo y silicio, rutas de absorción que son compartidas con el As (Befani *et al.*, 2017). Entre las medidas de manejo que pueden tener incidencia en minimizar la acumulación de As en grano se encuentran: la aplicación de ciclos aeróbicos durante la fase de inundación del cultivo para reducir su disponibilidad en el suelo y el manejo de la fertilización fosfatada, que mediante el mecanismo de competencia por los sitios de absorción de fósforo podrían minimizar la absorción de As. El objetivo principal de este trabajo es determinar manejos de riego y de fertilización fosfatada que permitan minimizar la acumulación de arsénico inorgánico en el grano de arroz sin afectar la productividad del cultivo. Como objetivo secundario se plantea evaluar el efecto del tipo de suelo, así como del cultivar en la absorción de iAs y su posterior acumulación en el grano de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la zafra arrocera 2018-2019 se realizaron 4 experimentos sobre dos suelos contrastantes y representativos de dos de las principales zonas productoras de arroz del país (Este y Centro). Los experimentos

¹ Federico Campos, Ing. Agr. estudiante de maestría, Facultad de Agronomía. UDELAR. fefocampos2003@hotmail.com

² Álvaro Roel, Ph.D. INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz.

³ Gonzalo Carracelas, M.Sc. INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz.

⁴ Raquel Huertas y Melissa Verger, Quím. Farm. M.Sc. LATU.

⁵ Matías Oxley, Téc. Agrop. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. INIA.

fueron sembrados en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (PdL) sobre un Planosol de la unidad «La Charqueada» en el departamento de Treinta y Tres y sobre un Vertisol de la unidad «Paso Coelho» en la localidad de Pueblo del Barro (PdeB), departamento de Tacuarembó. En cada localidad se sembraron experimentos con la variedad INIA Olimar e INIA Merín, cultivares de tipo *indica* de ciclos medio-corto y medio-largo respectivamente. El diseño experimental fue de parcelas divididas con 3 bloques en los que en la parcela mayor fueron aplicados 5 tratamientos de riego y en la sub-parcela se aplicaron dos tratamientos de fertilización fosfatada. El primer tratamiento de riego fue un testigo en el cual el cultivo fue inundado desde los 20 días pos-emergencia hasta 15 días previos a la cosecha. Los siguientes tratamientos inundaron y finalizaron el riego en el mismo momento, pero en ellos se aplicaron secados del suelo en diferentes estados fisiológicos del cultivo. El tratamiento SV aplicó un secado en estado vegetativo (15-20 días pos-inundación). El tratamiento SP aplicó un secado en R1. El tratamiento SVP aplicó dos secados, uno en estado vegetativo y otro en R1. El tratamiento SPF aplicó dos secados, en R1 y en plena floración. Las parcelas secadas fueron reinundadas cuando alcanzó un agotamiento de 50% del agua disponible en los

primeros 20 cm de suelo, aproximadamente 20 mm de agua disponible para ambos sitios experimentales y la definición de los momentos de reinundación se realizó en base al seguimiento de un balance hídrico del suelo. Los tratamientos de fertilización fosfatada consistieron en un testigo absoluto sin la aplicación de fósforo y un tratamiento con la aplicación de 50 kg/ha de P_2O_5 . Las variables dependientes analizadas fueron contenido de iAs (mg/kg) en grano de arroz pulido y rendimiento en grano corregido a 13% de humedad. Finalmente, se realizó el análisis estadístico utilizando el software R studio en combinación con los paquetes emmeans y nlme. Para ello se ajustó un modelo generalizado lineal mixto, se realizó un análisis de varianza y posteriormente una prueba de Tukey (R Core Team, 2021). En la figura 1 se esquematiza el manejo de riego para los diferentes tratamientos.

RESULTADOS PRELIMINARES

En el cuadro 1 se resumen los resultados de rendimiento en grano seco (kg/ha) y contenido de arsénico inorgánico (mg/kg) en grano de arroz blanco pulido.

La concentración media de iAs en grano de los experimentos fue de 0,074 mg/kg. Ninguna de las muestras obtenidas

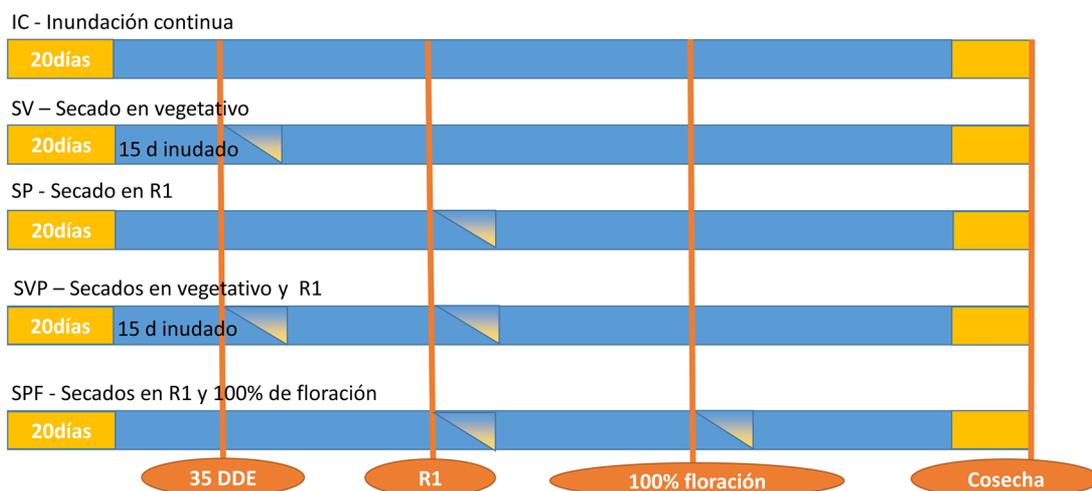


Figura 1. Tratamientos de riego aplicados en los sitios experimentales de Paso de la Laguna (PdL) y Pueblo del Barro (PdeB) durante la zafra 2018-2019.

Cuadro 1. Efecto del sitio experimental, variedad, tratamiento de riego y fertilización fosfatada sobre el contenido de iAs en grano de arroz pulido y rendimiento en grano corregido a 13% de humedad

Criterio de clasificación	Rend. (kg/ha)	iAs (mg/kg)
Sitio		
PdL	9.804 A	0,084 A
PdelB	9.206 B	0,063 B
Media	9.504	0,074
CV%	11,35	22,1
P<0,05	***	***
Variedad		
INIA Olimar	9.212 B	0,081 A
INIA Merín	9.798 A	0,067 B
P<0,05	***	***
Tratamiento de riego		
Inundación continua (IC)	9.567	0,072 A
Secado en vegetativo (SV)	9.747	0,073 A
Secado en primordio (SP)	9.491	0,078 A
Secado en vegetativo y R1 (SVP)	9.267	0,078 A
Secado en R1 y plena floración (SPF)	9.451	0,067 A
P<0,05	NS	*
Tratamiento de fósforo		
0UP	9.514	0,073
50UP	9.495	0,075
P<0,05	NS	NS

Letras distintas indican diferencias significativas con una probabilidad menor al 5% ($P < 0,05$). Códigos de significancia: '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05; NS: diferencias no significativas. CV: coeficiente de variación.

en los experimentos superó la reglamentación internacional vigente, CODEX ALIMENTARIUS (iAs<0,20 mg/kg) (FAO and WHO, 2020), e incluso, un 93% de las muestras analizadas estuvieron por debajo del límite definido por la FDA de los Estados Unidos para la elaboración de alimentos de infantes (iAs<0,1 mg/kg). La acumulación de iAs en el grano de arroz fue menor en PdelB respecto a PdL. INIA Merín presentó menor contenido de iAs que INIA Olimar. Los tratamientos de fertilización fosfatada probados no fueron efectivos para minimizar el contenido de iAs en el grano de arroz. La aplicación del tratamiento SPF fue efectivo para minimizar el contenido de iAs en ciertos tipos de suelo (PdL). Cabe destacar que

la aplicación de los tratamientos de riego alternativos a la inundación continua no generó reducción en el rendimiento en grano.

CONCLUSIONES

El tratamiento de riego que aplica dos eventos de secado del suelo durante el ciclo, R1 y plena floración, redujo el contenido de iAs en grano en el suelo del sitio de Paso de la Laguna. Los tratamientos alternativos a la inundación continua que combinaron uno o dos eventos de secado de suelo en diferentes etapas del ciclo del cultivo no afectaron el rendimiento en grano. El contenido medio de arsénico inorgánico (iAs) acumulado en el grano de

arroz pulido fue de 0,074 mg/kg. Aún bajo el manejo de riego tradicional con inundación continua, los niveles de iAs detectados estuvieron por debajo del límite que proponen las normas internacionales de seguridad alimentaria. No obstante, es importante tener evaluadas alternativas de mitigación en caso de necesidad.

BIBLIOGRAFÍA

Befani, M., Quintero, C., Panozzo, J., Farías, S., Boschetti, N., Zamero, M., & Díaz, E. 2017. Presence of arsenic in argentinian rices. Strategies to minimize them. Rice Extension. Disponible en: <https://riceextension.org.au/s/Romina-Befani-Presence-of-Arsenic-in-Argentinian-Rices-extended-abstract.pdf>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations); WHO (World Health Organization) 2020. Codex alimentarius: International food standards. FAO, WHO. General standard for contaminants and toxins in food and feed. CXS 193-1995. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/CXS_193e.pdf

FDA. 2020. Supporting document for action level for arsenic in rice cereals for infants. Disponible en: <https://www.fda.gov/food/chemical-metals-natural-toxins-pesticides-guidance-documents-regulations/supporting-document-action-level-inorganic-arsenic-rice-cereals-infants>

Meacher, D. M.; Menzel, D. B.; Dillencourt, M. D.; Bic, L. F.; Schoof, R. A.; Yost, L. J.; Eickhoff, J. C.; Farr, C. H. 2002. Estimation of multimedia inorganic arsenic intake in the US population. *Human and Ecological Risk Assessment*, 8(7):1697-1721. Doi: <https://doi.org/10.1080/20028091057565>

Meharg A. A., Williams P. N., Adamako E., Lawgali Y. Y., Deacon C., Villada A., Cambell R. C. J., Sun G. X., Zhu Y. G., Feldmann J., Raab A., Zhao F. J., Islam R., Hossain S., Yanai J. 2009. Geographical variation in total and inorganic arsenic content of polished (white) rice. *Environmental Science & Technology*, 43(5):1612–1617. <https://doi.org/10.1021/es802612a>

National Research Council. 2001. Arsenic in drinking water – 2001 update. Washington, D.C: National Academy Press.

R Core Team, 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing, R foundation for statistical computing. Vienna: Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org/>

World Health Organization. 2004. IARC: Some drinking water disinfectants and contaminants, including arsenic, Lyon, France: IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; 84) Disponible en: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Drinking-Water-Disinfectants-And-Contaminants-Including-Arsenic-2004>