

# ESPECIACIÓN DE ARSÉNICO EN PLANTAS DE ARROZ, SU EFECTO SOBRE EL VANEО FISIOLÓGICO “*STRAIGHTHEAD*”

Cesar Quintero<sup>1</sup>; Joaquín Panozzo<sup>1</sup>; Silvia Farias<sup>2</sup>; Romina Befani<sup>1</sup>; Agustín Londonio<sup>2</sup>; Yamila Morisio<sup>2</sup>; María Zamero<sup>1</sup>; Patricia Smichowski<sup>2</sup>; Roberto Servant<sup>2</sup>; Eduardo Díaz<sup>1</sup>; Graciela Boschetti<sup>1</sup>

Palabras clave: DMA, MMA, Potencial redox, Riego, Residuos de cosecha

## INTRODUCCIÓN

El entendimiento de del ciclo biogeoquímico del Arsénico en los suelos, así como su asimilación y metabolismo por las plantas de arroz se ha incrementado exponencialmente en los últimos años debido al interés que ha despertado el As en el arroz y su efecto sobre la salud humana (Meharg y Zhao, 2012).

A partir de una reciente revisión de Zhao, et al. (2013) podemos decir resumidamente que en el grano de arroz puede encontrarse tanto As inorgánico (As-i) como las formas orgánicas metiladas monometilarsonato (MMA) y dimetilarseniato (DMA). Existe una gran variación a nivel global en las concentraciones de las distintas especies de As en granos de arroz. Esta diferencia se ha manifestado regionalmente, teniendo los arroces de Asia e India mayor proporción inorgánica y los de USA y Europa más As orgánico. En Entre Ríos (Argentina) se han detectado niveles de As en grano particularmente altos y mayormente en forma orgánica (Quintero, et al. 2011). A concentraciones bajas de As total en grano, la proporción de As inorgánico es alta, mientras que a medida que se aumenta la concentración de As total crece la proporción de As orgánico, fundamentalmente DMA. Esta variación en las especies de As presentes en el grano de arroz fue primeramente atribuida a causas genéticas, pero actualmente se sabe que es mayormente debida a cuestiones ambientales como suelos y manejo del riego (Zhao, et al. 2013).

Existe bastante evidencia de que la planta de arroz es incapaz de metilar el As-i y por lo tanto lo absorbe del medio como tal (Lomax, et al. 2012). Muchos microorganismos del suelo son capaces de metilar el As-i y su actividad es incrementada en suelos inundados, especialmente cuando son adicionados residuos orgánicos frescos. Si bien la raíces de arroz absorben tanto el As-i como las formas orgánicas (MMA o DMA), son mucho mas eficientes en absorber As-i. Sin embargo, una vez absorbido el DMA se transloca a mucha mayor velocidad vía floema y xilema hacia los granos, mientras que el As-i tiene mucha menor movilidad y queda retenido en las raíces y tejidos vegetativos. El DMA se distribuye uniformemente en el endosperma del grano mientras que el As-i llega en menor medida y se ubica en los haces vasculares del óvulo y la aleurona, por ello el arroz pulido tiene mayor proporción de DMA que el integral. Esta extremadamente alta eficiencia de translocación del DMA hacia los granos puede ser un factor importante en la inducción del *straighthead*, dado que evidencias recientes indican que las formas metiladas son particularmente tóxicas y provocan deformación de las flores (Zheng, et al. 2013). El *straighthead* se presenta en algunas ocasiones con severidad bajo inundación permanente y se agrava si existen residuos de cosecha abundantes (Panozzo, et al 2011).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la concentración del las diferentes especies de As en plantas de arroz y su relación con el vaneо fisiológico *straighthead*.

---

(1) Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. CC 24, Paraná (3100), ER-Argentina. cquinter@fca.uner.edu.ar

(2) Departamento de Química Analítica, Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2010/11, se realizó un ensayo en un campo de producción comercial de arroz, ubicado en el sur de Corrientes, Argentina, (30°17'2,29"W–58°9'48,02"S). Los factores analizados fueron manejo de agua e incorporación de restos vegetales. Los tratamientos fueron: Rc-Cr= Riego continuo, Con restos vegetales. Rc-Sr= Riego continuo, Sin restos vegetales Ri-Cr= Riego interrumpido (drenado)-Con restos vegetales. Ri-Sr= Riego interrumpido, Sin restos vegetales.

El manejo de agua consistió en un tratamiento de inundación permanente desde 4 hojas hasta madurez (Rc) y otro similar pero con drenado de 15 días antes de entrar en la fase de diferenciación de panícula, para luego volver a inundar hasta madurez (Ri). Este manejo se efectuó hasta alcanzar el secado homogéneo del terreno, observándose claros signos de desecación como el agrietamiento del suelo. La incorporación de restos vegetales incluyó 24 t/ha de materia seca de pastos naturales, incorporados con rotobacter antes de la siembra (Cr) y un tratamiento sin residuos (Sr). Mas detalles sobre el ensayo pueden consultarse en Panozzo et al. (2011). Se determinó el potencial de oxido-reducción en el suelo con electrodo de platino con una frecuencia aproximada de 7 días.

Se evaluó la biomasa aérea (grano y paja) a la madurez y los componentes del rendimiento: panojas/m<sup>2</sup>, granos/panoja, peso de 1000 granos, porcentaje de granos vanos y granos vanos deformados. Se corrigió el rendimiento a 14 % de humedad. Las muestras de granos enteros (con cáscara) y paja de arroz se digirieron utilizando ácido nítrico 0,28 M. En los extractos se realizó la especiación del As por cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de fluorescencia atómica (HPLC- AFS).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron muy buenos rendimientos en los tratamientos con riego discontinuo (Tabla 1). La inundación permanente junto con la incorporación de restos vegetales próximos a la siembra provocaron importantes efectos negativos sobre el cultivo. El número de panojas, la cantidad de flores por panoja y el peso de los granos llenos no fue afectado por los tratamientos. Sin embargo hubo un significativo efecto sobre el número de granos vacíos con presencia de glumelas deformadas características del vanéo fisiológico. El rendimiento en granos fue significativamente menor con riego continuo y rastrojos, causado por una disminución de los destinos reproductivos como resultado de la presencia de *stragthead*. Contrariamente el rendimiento de paja fue menor con riego discontinuo y sin rastrojos (Tabla 1).

Tabla 1: Rendimiento y granos vanos para los tratamientos evaluados.

TRAT	Rendimiento (kg/ha)	Granos Vanos (%)	Granos vanos deformados * (%)	Paja (kg/ha)
Rc-Cr	6.281 a	48,3 a	60	13.936 a
Rc-Sr	9.527 b	22,3 b	9	11.561 ab
Ri-Cr	10.901 b	7,2 b	0	10.383 ab
Ri-Sr	10.935 b	6,8 b	0	9.191 b

\*: "stragthead". Letras distintas indican diferencias significativas (Fisher p<0,05)

Los tratamientos tuvieron un efecto significativo sobre la concentración y las proporciones de las distintas especies de As tanto en la paja como en el grano. Si bien presentaron valores de As totales similares, en la paja dominaron las formas inorgánicas mientras que en el grano dominaron las orgánicas (Tablas 2 y 3).

El manejo del agua tuvo un efecto muy significativo; con riego continuo la proporción de DMA en la paja fue significativamente superior (31-36 %) que el riego intermitente o drenado (17-18 %), mientras que el As V aumentó de 59-64% a 77-78% respectivamente (Tabla 3).

Tabla 2: Concentración de especies de As detectadas en el grano de arroz con cáscara, suma de especies y contribución porcentual para los diferentes tratamientos.

TRAT	As V (ng/g)	As III (ng/g)	DMA (ng/g)	MMA (ng/g)	As Suma (ng/g)	As V (%)	As III (%)	DMA (%)	MMA (%)
Rc-Cr	281	36	2.799 B	67	3.182 B	9,3	1,3	87	2,1
Rc-Sr	375	26	2.654 B	22	3.077 B	12,3	1,0	86	0,7
Ri-Cr	148	5	2.158 AB	47	2.358 AB	7,1	0,2	91	2,0
Ri-Sr	355	24	1.390 A	32	1.800 A	20,5	1,3	76	1,8

Letras distintas indican diferencias significativas (Fisher  $p \leq 0,05$ )

Tabla 3: Concentración de especies de As detectadas en el paja de arroz, suma de especies y contribución porcentual para los diferentes tratamientos.

TRAT	As V (ng/g)	As III (ng/g)	DMA (ng/g)	MMA (ng/g)	As Suma (ng/g)	As V (%)	As III (%)	DMA (%)	MMA (%)
Rc-Cr	1500	1,3	664 A	120 AB	2286 A	64 A	0,1	31 B	5,9
Rc-Sr	2229	2,0	1346 B	187 B	3764 B	59 A	0,1	36 B	4,9
Ri-Cr	1917	2,3	412 A	103 A	2434 A	78 B	0,1	17 A	4,3
Ri-Sr	2178	0,7	530 A	133 AB	2841 AB	77 B	0,0	18 A	4,7

Letras distintas indican diferencias significativas (Fisher  $p \leq 0,05$ )

En los granos el As orgánico se observó en mayor proporción, las concentraciones mas altas de DMA coincidieron con el mayor porcentaje de granos vanos, deformados y menores rendimientos. El riego intermitente permitió disminuir la anoxia del suelo previo al estado reproductivo, se redujo la concentración de DMA y no se observaron síntomas de *straighthead* de manera similar a lo informado por Hua, et al (2013).

El manejo del riego y la incorporación de residuos modificaron significativamente el potencial redox del suelo. El riego continuo con residuos provocó el mayor descenso en los potenciales redox, seguido del riego continuo sin residuos. Los potenciales redox se correlacionaron negativamente con la concentración de DMA en el grano y positivamente con el rendimiento en grano del arroz (Figura 1).

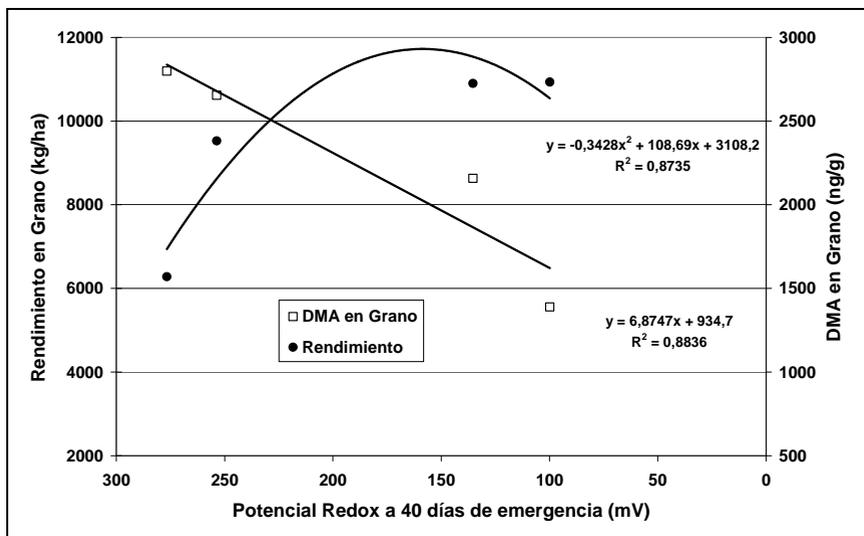


Figura 1. Rendimiento y concentración de DMA en granos de arroz en función del potencial de oxido reducción del suelo a los 40 días de la emergencia de las plántulas.

Nuestros resultados concuerdan con la literatura reciente indicando que las condiciones de anaerobiosis estimulan la producción microbiana de DMA en el suelo que es absorbido por las plantas y translocado a los granos, provocando esterilidad y deformación de flores (*straighthead*). Es decir que en la zona de estudio, la conjunción de suelos y flora microbiana en condiciones muy reductoras puede producir niveles de As metilados tóxicos para el arroz y reducir el rendimiento en variedades susceptibles. Es interesante destacar que en nuestro estudio, la alta disponibilidad y absorción de As se dio naturalmente y que no hay efectos antropogénicos de inclusión, como el riego con aguas contaminadas o la utilización de agroquímicos con As.

La interrupción de riego en el estado vegetativo permitió una oxigenación suficiente del suelo para disminuir los niveles de DMA disponible y evitar los efectos tóxicos aun cuando se incorporaron abundantes residuos vegetales.

Esta “nueva visión” del rol del As en el vaneo fisiológico es factible gracias a la posibilidad de especiar el As y se contraponen con los estudios anteriores donde se analizaba únicamente el As total. La especiación del As en suelos y plantas puede jugar un rol muy importante en el entendimiento de esta enfermedad fisiológica, sus posibilidades de manejo y la selección de variedades resistentes.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto PICT-2011, N° 1955.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- HUA, B.; YAN, W.; YANG, J.; 2013. Response of rice genotype to straighthead disease as influenced by arsenic level and water management practices in soil. *Science of the Total Environment*. 442: 432–436
- LOMAX C.; LIU, W.; WU, L.; XUE, K.; XIONG, J.; ZHOU, J.; MCGRATH, S.P.; MEHARG, A.A.; MILLER, A.J.; ZHAO, F.J. 2012. Methylated arsenic species in plants originate from soil microorganisms. *New Phytol* 193:665–672
- MEHARG, A.; ZHAO, F.J. 2012. *Arsenic & Rice*. Springer: Dordrecht; p171.
- PANOZZO, A.J.; QUINTERO, C.E.; ARÉVALO, E.S.; ZAMERO, M.A.; BEFANI, R. 2011. Efecto de manejo de riego e incorporación de restos vegetales sobre vaneo fisiológico “straighthead” en arroz. VII Congreso Brasileiro de Arroz irrigado. *Anais* 2:40-43. Camboriú, Brasil.
- QUINTERO, C.E. FARIAS, S, BEFANI, R. TEMPORETTI, C. LONDONIO, A. MORISCO, Y. DÍAZ, E. SMICHOWSKI, P. SERVANT, R. 2011. Concentración, especies y origen del arsénico en arroz cv Cambá cultivado en Entre Ríos. P. 157-163. Volumen XX. *Resultados Experimentales. Jornada Técnica nacional Cultivo Arroz. Concordia*.
- ZHAO, F.J.; ZHU, Y.G.; MEHARG, A. 2013. Methylated Arsenic Species in Rice: Geographical Variation, Origin, and Uptake Mechanism. *Environ. Sci. Technol.* 47:3957-3966.
- ZHENG, M.Z.; LI, G.; SUN, G.X.; SHIM, H.; CAI, C. 2013. Differential toxicity and accumulation of inorganic and methylated arsenic in rice. *Plant Soil*. 365:227–238.