

Capítulo 28. Concentración de arsénico en arroz con diferentes manejos agronómicos

Mario Paredes C., Viviana Becerra V., Gabriel Donoso Ñ., Jorge Yáñez S., Eimmy Ramírez M.

Es de extrema importancia determinar con certeza la inocuidad del arroz producido en Chile y definir las estrategias agrícolas que permitan reducir los niveles existentes de metales pesados en arroz.

Existen factores agronómicos detectados que influyen en la presencia de arsénico en el grano de arroz. Entre ellos están: el suelo (material parental, potencial redox, pH, materia orgánica y otros minerales); el agua (riego aeróbico, intermitente vs. suelo saturado); la fertilización (sílice, fosfato, NPK); y el genotipo (*japonica* tropical y *japonica* templado absorben menos que otros tipos de arroz).

Fertilización fosfatada

El fósforo favorece el crecimiento radical y, por tanto, mejora la absorción de agua y otros nutrientes. La mayor absorción de P se presenta durante el período de desarrollo vegetativo y se reduce después de la formación de la panícula. El fosfato y el arseniato son análogos y pueden combinarse en los mismos sitios en las partículas del suelo. La fertilización con fosfato, comúnmente tiene dos consecuencias. La primera es el aumento del movimiento descendente del As que resulta en un aumento de la lixiviación desde la capa superficial del suelo; la segunda es una mayor accesibilidad de As en la solución del suelo, dado que la toxicidad en los cultivos puede prevalecer en situaciones donde la contaminación por As coexiste con un P disponible bajo (Abedi y Mojiri, 2020).

Aunque estudios realizados en el extranjero indican que, en el largo plazo, el impacto de las aplicaciones de fertilizantes fosfatados sobre la acumulación de elementos trazas ha sido limitada y localizada (Jiao et al., 2012), y estuvo asociado a la calidad del fertilizante aplicado (Hartley et al., 2013), la gran mayoría de los estudios indican que la fertilización (independiente del tipo) reduce la concentración de arsénico en el grano.

Agua

El manejo del agua también tiene influencia en el contenido de arsénico en la planta. En general, los sistemas de riego aeróbico, intermitentes y en suelos saturados presentan un menor contenido de arsénico en la planta, comparado con el sistema convencional-inundado que se utiliza normalmente en el cultivo del arroz (Xu et al., 2008; Li et al., 2009; Sarkar et al., 2012; Hu et al., 2013; Donoso et al., 2015; Paredes et al., 2015). Sin embargo, esta conclusión también debe ser evaluada en el contexto productivo, debido a que en condiciones aeróbicas genera, en algunos casos, una reducción importante del rendimiento en grano, comparado con los otros sistemas de riego (Li et al., 2009; Peng et al., 2006; Sarkar et al., 2012).

Absorción de arsénico en arroz bajo diferentes concentraciones de fósforo

Dentro del Proyecto Innova Chile se evaluaron prácticas agronómicas que podrían reducir el nivel de arsénico presente en el grano y, de esta manera, obtener un arroz más inocuo para la salud de la población. Para ello, se realizó un ensayo en el Campo Experimental de Arroz de INIA en San

Carlos, con diferentes variedades y líneas experimentales INIA, para determinar la existencia de una absorción diferencial de arsénico debido al genotipo. Las variedades fueron fertilizadas con diferentes unidades de fósforo (superfosfato triple) correspondientes a 0, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹.

En general, los resultados mostraron que las diferentes dosis de fósforo influyeron en la absorción de arsénico en la planta y, por ende, en su contenido en el grano de arroz (Figura 1). La concentración promedio de As total en el grano de arroz disminuyó en forma sostenida en la medida que se aumentó la dosis de fósforo, registrándose como concentración más elevada $62 \pm 14 \mu\text{g kg}^{-1}$ en la parcela control (sin adición de fósforo), mientras que la menor concentración alcanzó $15 \pm 14 \mu\text{g kg}^{-1}$, cuando se aplicaron 180 kg ha⁻¹ (Figura 1).

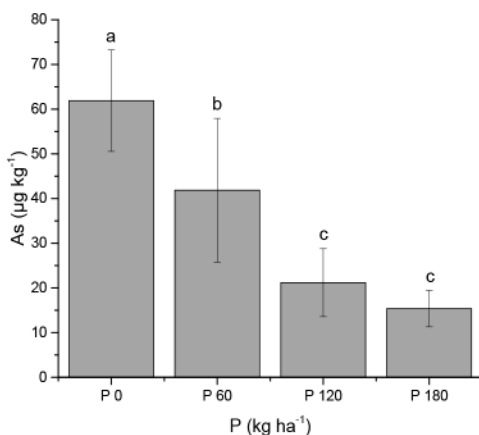


Figura 1. Concentraciones de arsénico total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) en muestras de arroz, bajo diferentes dosis de fósforo ($\text{kg P}_2\text{O}_4 \text{ ha}^{-1}$) ($P < 0,05$).

Arsénico total absorbido por genotipos fertilizados con cuatro tratamientos de fósforo en el suelo

Los resultados indican una respuesta diferencial de las variedades de arroz en su absorción de arsénico en el grano, bajo diferentes niveles de fósforo aplicados al suelo (Foto 1, Figura 2).

Las variedades de arroz que acumularon más As en relación al fosfato aplicado fueron:

1. P 0: sin adición de fósforo, el genotipo Quila 208904 ($86 \pm 11 \mu\text{g kg}^{-1}$), 'Platino-INIA' ($82 \pm 14 \mu\text{g kg}^{-1}$) y 'Diamante-INIA' ($75 \pm 15 \mu\text{g kg}^{-1}$).
2. P 60: con la dosis de fósforo de 60 kg ha⁻¹, el genotipo Quila 208904 ($70 \pm 8 \mu\text{g kg}^{-1}$) y 'Platino-INIA' ($51 \pm 15 \mu\text{g kg}^{-1}$).
3. P 120: con la dosis de fósforo de 120 kg ha⁻¹, la línea experimental CI-4 ($40 \pm 7 \mu\text{g kg}^{-1}$) y Quila 208904 ($38 \pm 12 \mu\text{g kg}^{-1}$).
4. P 180: con la dosis de fósforo de 180 kg ha⁻¹, la línea experimental CI-12 ($36 \pm 4 \mu\text{g kg}^{-1}$) y CI-4 ($26 \pm 6 \mu\text{g kg}^{-1}$).

Por otro lado, las líneas experimentales y variedades de arroz que acumularon menos As fueron:

1. P 0: sin adición de fósforo, las líneas experimentales CI-12 ($41 \pm 9 \mu\text{g kg}^{-1}$), y CI-15 ($49 \pm 10 \mu\text{g kg}^{-1}$).
2. P 60: con la dosis de fósforo de 60 kg ha⁻¹, las variedades 'Diamante-INIA' ($22 \pm 15 \mu\text{g kg}^{-1}$), 'Cuarzo-INIA' ($32 \pm 19 \mu\text{g kg}^{-1}$), y la línea experimental CI-12 ($34 \pm 7 \mu\text{g kg}^{-1}$).

3. P 120: con la dosis de fósforo de 120 kg ha^{-1} , las variedades 'Cuarzo-INIA' ($9 \pm 2 \mu\text{g kg}^{-1}$), 'Brillante-INIA' ($13 \pm 9 \mu\text{g kg}^{-1}$) y la línea experimental CI-12 ($14 \pm 8 \mu\text{g kg}^{-1}$).
4. P 180: con la dosis de fósforo de 180 kg ha^{-1} , la variedad 'Diamante-INIA' ($4 \pm 1 \mu\text{g kg}^{-1}$), Quila 208904 ($4 \pm 4 \mu\text{g kg}^{-1}$), 'Cuarzo-INIA' ($7 \pm 2 \mu\text{g kg}^{-1}$) y 'Platino-INIA' ($8 \pm 3 \mu\text{g kg}^{-1}$).



Foto 1. Variedades y líneas experimentales bajo diferentes niveles de fertilización fosfatada. Temporada 2015-2016.

Los niveles de arsénico total en los granos de arroz, para todos los genotipos evaluados, fueron mayores cuando no se aplicó fósforo ($P=0$). Por otro lado, todos los genotipos, con excepción de la línea experimental CI-12, presentaron menor nivel de arsénico total, a medida que se aumentó la dosis a 60, 120 y 180 kg de P ha^{-1} , medido en $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Figura 2).

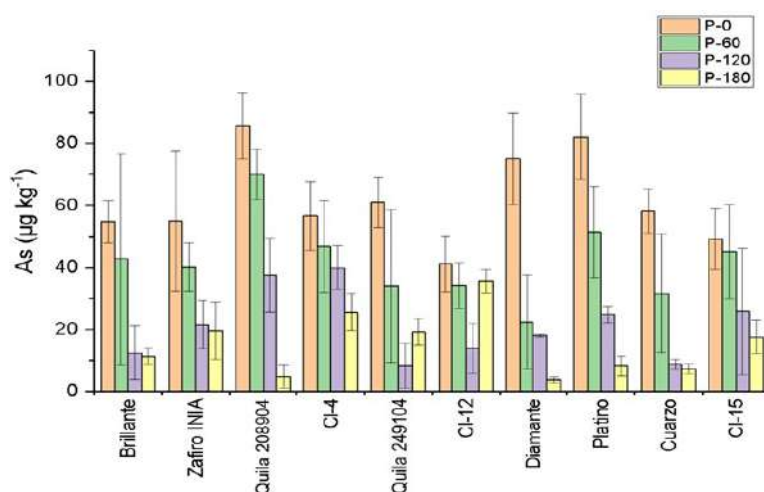


Figura 2. Concentraciones de arsénico total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) en variedades comerciales y líneas experimentales de arroz, bajo diferentes dosis de fósforo ($\text{kg P}_5\text{O}_4 \text{ ha}^{-1}$).

Existe un amplio número de trabajos que indican un potencial de reducción en la absorción y acumulación de arsénico mediante la aplicación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos (compost), los cuales pueden inmovilizar, adsorber o co-precipitar el arsénico *in situ*. Sin embargo, las aplicaciones de fósforo por un largo tiempo, pueden contribuir a aumentar elementos trazas de

arsénico, cadmio y plomo en cultivos, lo que depende de la calidad (pureza) del fertilizante aplicado (Jiao et al., 2012; Hartley et al., 2013). Por otra parte, algunos estudios indican que diferentes variedades de arroz presentan diferentes tasas de absorción y acumulación de As, reportándose diferencias significativas, tanto entre variedades de arroz, como en la ubicación geográfica donde éste se cultiva (Norton et al., 2009; Meharg et al., 2009; Khan et al., 2010; Pillai et al., 2010; Rauf et al., 2011; Hua et al., 2011; Hu et al., 2013; Kuramata et al., 2013; Sommella et al., 2013).

Concentraciones de arsénico en arroz bajo diferentes sistemas de riego

Para evaluar el efecto del manejo del agua en la acumulación de arsénico en la planta, se analizaron 20 genotipos de arroz en los campos experimentales en San Carlos y Parral. Los genotipos fueron evaluados bajo diferentes sistemas de siembra y sistemas de riego: a) semilla pregerminada sobre una lámina de agua de 5 cm y el cultivo inundado desde siembra a cosecha; b) siembra en seco, riego a capacidad de campo desde el establecimiento y crecimiento vegetativo, e inundado desde la etapa R1 hasta madurez fisiológica. La humedad del suelo se controló mediante sensores Watermark (Modelo 200SS, U.S.A.), ubicados en cada parcela.

Los resultados indicaron que las condiciones de riego influyeron en la absorción de As por la planta y su acumulación en el grano de arroz. Es así como, el riego inundado muestra concentraciones promedio de As total más elevadas en el cultivo, con $60 \pm 13 \mu\text{g kg}^{-1}$ en San Carlos y $65 \pm 17 \mu\text{g kg}^{-1}$ en Parral. Por otro lado, la concentración de As total fue más baja cuando el cultivo se regó sin inundación o con riego intermitente, observándose valores de $44 \pm 18 \mu\text{g kg}^{-1}$ en San Carlos y $57 \pm 23 \mu\text{g kg}^{-1}$ en Parral (Figura 3).

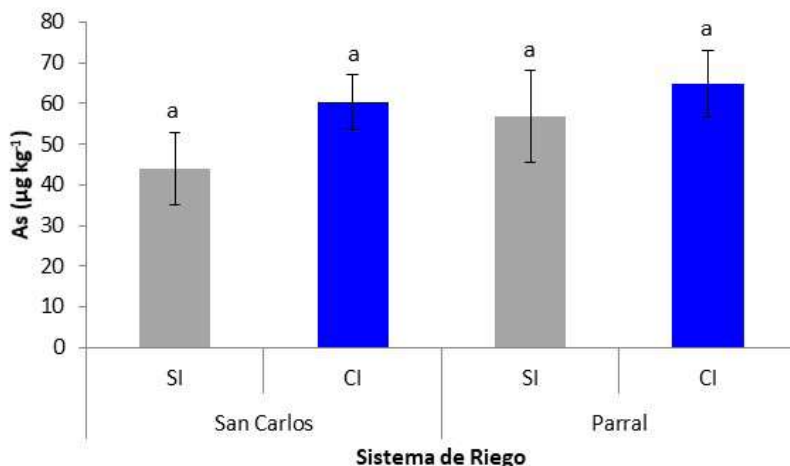


Figura 3. Concentraciones promedio de As total bajo diferentes condiciones de riego y en dos comunas (San Carlos y Parral). SI: sin inundar, CI: con inundación ($P < 0,05$).

Efecto varietal y riego sobre la absorción de arsénico

Las variedades de arroz utilizadas también presentaron diferencias en su capacidad de acumulación de As en el grano, considerando el riego y la localidad (Figura 4). En San Carlos, las variedades que acumularon más As bajo el sistema de inundación fueron 'Platino-INIA' ($81 \pm 47 \mu\text{g kg}^{-1}$), 'Digua CI' ($73 \pm 43 \mu\text{g kg}^{-1}$), 'Oro' ($70 \pm 19 \mu\text{g kg}^{-1}$) y 'Ámbar-INIA' ($69 \pm 19 \mu\text{g kg}^{-1}$). Mientras que en el riego intermitente (SI) fueron 'Platino-INIA' ($72 \pm 25 \mu\text{g kg}^{-1}$) y 'Digua CI' ($57 \pm 26 \mu\text{g kg}^{-1}$).

Por el contrario, las líneas experimentales y variedades que acumularon menos As en siembra con riego con inundación fueron BC4-4 ($37 \pm 38 \mu\text{g kg}^{-1}$) y BC4-12 ($46 \pm 26 \mu\text{g kg}^{-1}$) y en el riego intermitente fue 'Oro' ($5 \pm 16 \mu\text{g kg}^{-1}$).

En Parral, las variedades y líneas experimentales que acumularon más As bajo riego con inundación fueron 'Cuarzo-INIA' ($104 \pm 17 \mu\text{g kg}^{-1}$) y BC4-4 ($76 \pm 22 \mu\text{g kg}^{-1}$) y bajo condiciones de riego intermitente fueron BC4-12 ($107 \pm 14 \mu\text{g kg}^{-1}$) y 'Digua CI' ($81 \pm 25 \mu\text{g kg}^{-1}$).

Mientras que, en la misma comuna de Parral, las variedades que acumularon menos As bajo riego con inundación fueron 'Zafiro-INIA' ($47 \pm 26 \mu\text{g kg}^{-1}$), 'Brillante-INIA' ($50 \pm 12 \mu\text{g kg}^{-1}$) y 'Platino-INIA' ($53 \pm 29 \mu\text{g kg}^{-1}$), mientras que para riego intermitente fueron 'Oro' ($34 \pm 14 \mu\text{g kg}^{-1}$) y 'Zafiro-INIA' ($39 \pm 15 \mu\text{g kg}^{-1}$).

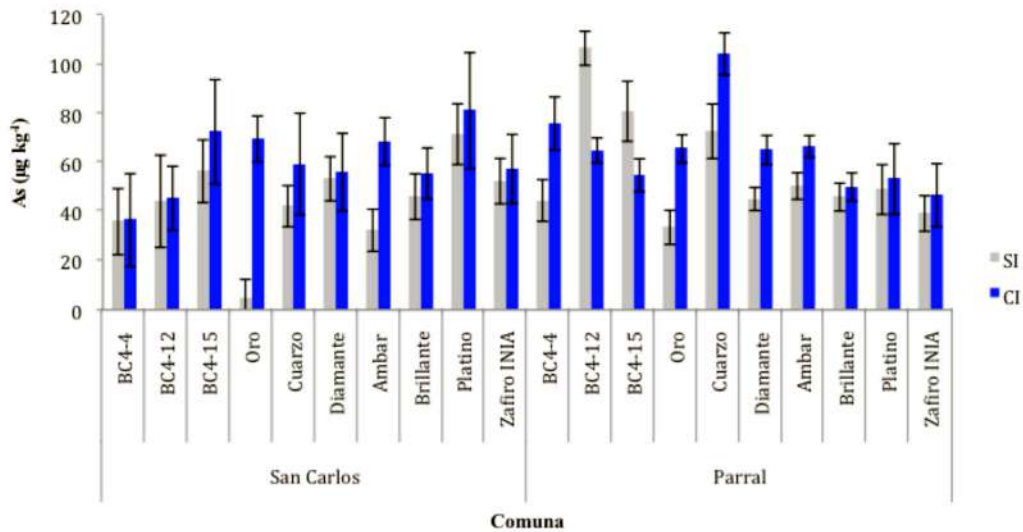


Figura 4. Concentraciones de As total en muestras de variedades comerciales y líneas experimentales de arroz, bajo diferentes condiciones de riego y en dos comunas (San Carlos y Parral). SI: sin inundar, CI: lámina de agua.

Conclusiones

Los niveles de arsénico total reportados en granos de arroz de variedades chilenas ($96 \pm 52 \mu\text{g kg}^{-1}$) son comparativamente bajos y cumplen con la normativa internacional (OMS) para arsénico inorgánico en grano de arroz pulido ($\sim 47 \mu\text{g kg}^{-1}$ Chile) que establece una concentración máxima de $200 \mu\text{g kg}^{-1}$. También cumple con las normativas de otros países (UE, U.S.A. y China). Las prácticas agrícolas, como el aumento de la dosis de fertilizante (fósforo), disminuye la absorción de As en granos de arroz en un 32 % 66 % y 76,0 % con dosis de 60, 120 y $180 \text{ kg P}_5\text{O}_4 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. Las condiciones de riego igualmente influyen en la absorción de As en la planta y grano de arroz, disminuyendo la acumulación de As en un 36 % y 14 % promedio en los ensayos realizados con sistema de riego sin inundación en las comunas de San Carlos y Parral. Las variedades de arroz 'Diamante-INIA', 'Cuarzo-INIA' y 'Platino-INIA', presentaron las menores concentraciones de As total ($\geq 8 \mu\text{g kg}^{-1}$) en grano a la mayor dosis de fósforo aplicado. Por otra parte, en los ensayos realizados con riego sin inundación, las menores concentraciones de As se presentaron en la variedad 'Oro' en la comuna de San Carlos ($5 \mu\text{g kg}^{-1}$) y en las variedades 'Oro' y 'Zafiro-INIA' en la comuna de Parral ($\geq 39 \mu\text{g kg}^{-1}$).

Referencias

- Abedi, T., Mojiri, A. 2020. Arsenic uptake and accumulation mechanism in rice species. *Plants (Basel)* 9(2):129.
- Donoso, G., Paredes, M., Uribe, H., et al. 2015. Manejo del agua: Alcances y desafíos. p. 59-61. En Paredes, M., Becerra, V. (eds.) *Manual de producción de arroz: Buenas prácticas agrícolas (BPA)*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.
- Hartley, T.N., Macdonald, A.J., Mc Grath, S.P.M., et al. 2013. Historical arsenic contamination of soil due to long-term phosphate fertilizer applications. *Environ. Pollut.* 180:259-264.
- Hu, P., Huang, J., Ouyang, Y., et al. 2013. Water management affects arsenic and cadmium accumulation in different rice cultivars. *Environ. Geochem. Health* 35:767-778.
- Hua, B., Yan, W., Wang, J., et al. 2011. Arsenic accumulation in rice grains: Effects of cultivars and water management practices. *Environ. Eng. Sci.* 28:591-596.
- Jiao, W., Chen, W., Chang, A., et al. 2012. Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizer applications: a review. *Environ. Pollut.* 168:44-53.
- Khan, M.A., Islam, M.R., Panaullah, G.M., et al. 2010. Accumulation of arsenic in soil and rice under wetland condition in Bangladesh. *Plant Soil* 333:263-274.
- Kuramata, M., Abe, T., Kawasaki, A., et al. 2013. Genetic diversity of arsenic accumulation in rice and QTL analysis of methylated arsenic in rice grains. *Rice* 6(1):3.
- Li, R.Y., Ago, Y., Liu, W.J., et al. 2009. The rice aquaporin Lsi1 mediates uptake of methylated arsenic species. *Plant Physiol.* 150:2071-2080.
- Meharg, A., Williams, P.N., Adomako, E., et al. 2009. Geographical variation in total and inorganic arsenic content of polished (white) rice. *Environ. Sci. Technol.* 43:1612-1617.
- Norton, G.J., Duan, G., Dasgupta, T., et al. 2009. Environmental and genetic control of arsenic accumulation and speciation in rice grain: comparing a range of common cultivars grown in contaminated sites across Bangladesh, China, and India. *Environ. Sci. Technol.* 43:8381-8386.
- Paredes, M., Becerra, V., Donoso, G. 2015. Evaluación de los niveles de arsénico en la zona arrocería del país. *Algrano* 2:19.
- Peng, S., Bouman, B., Visperasm, R.M., et al. 2006. Comparison between aerobic and flooded rice in the tropics: Agronomic performance in an eight-season experiment. *Field Crops Res.* 96:252-259.
- Pillai, T.R., Yan, W.G., Agrama, H.A., et al. 2010. Total grain-arsenic and arsenic-species concentrations in diverse rice cultivars under flooded conditions. *Crop Sci.* 50:2065-2075.
- Rauf, M.A., Hakim, M.A., Hanafi, M.M., et al. 2011. Bioaccumulation of arsenic (As) and phosphorus by transplanting Aman rice in arsenic-contaminated clay soils. *Aust. J. Crop Sci.* 5:1678-1684.
- Sarkar, S., Basu, B., Kundu, C.K., et al. 2012. Deficit irrigation: An option to mitigate arsenic load of rice grain in West Bengal, India. *Agric. Ecosyst. Environ.* 146:147-152.
- Sommella, A., Deacon, C., Norton, G., et al. 2013. Total arsenic, inorganic arsenic, and other elements concentrations in Italian rice grain varies with origin and type. *Environ. Pollut.* 181:38-43.
- Xu, X., McGrath, S.P., Meharg, A.A., et al. 2008. Growing aerobically markedly decreased arsenic accumulation. *Environ. Sci. Technol.* 42:5574-5579.