

Influência da aplicação foliar de silício e sílica amorfa e sua resposta na cultura de arroz

Influence of foliar application of silicon and amorphous silica and their response in rice culture

DOI:10.34117/bjdv7n3-343

Recebimento dos originais: 10/02/2021

Aceitação para publicação: 15/03/2021

Daisy Leticia Ramirez Monzon*

Doutora em Agronomia, Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este
Ruta Internacional N°2 Km17 Minga Guazú, Paraguay
E-mail: daisyrami@gmail.com

Monica Beatriz Preto Salina

Engenheiro Agrônomo Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este
Ruta Internacional N°2 Km17 Minga Guazú, Paraguay
E-mail: prietobeatriz.m@gmail.com

Ernesto Jose Bernal Gini

Mestrando em Nutrición de Plantas y Producción Agrícola - Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este
Ruta Internacional N°2 Km17 Minga Guazú, Paraguay
E-mail: erne.981@gmail.com

Felicita Tomasa Fernandez

Engenheiro Agrônomo Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este, Ruta Internacional N°2 Km17 Minga Guazú, Paraguay
E-mail: ftferper@hotmail.com

Lucia Simeona Rios Valiente

Engenheiro Agrônomo Facultad de Ingeniería Agronómica-Universidad Nacional del Este
Ruta Internacional N°2 Km17 Minga Guazú, Paraguay
E-mail: luciariosvaliente@gmail.com

Líder Ayala Agilera

Doutor em Ciências, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay
E-mail: semillas@agr.una.py

Luciano Carlos da Maia

Doutor em Agronomia Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil
E-mail: lucianoc.maia@gmail.com

Geri Eduardo Meneghello

Doutor em Agronomia Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil
E-mail: gmeneghello@gmail.com

RESUMO

O silício (Si) tem sido considerado um elemento quase essencial nas plantas. O subproduto do setor agrícola como a cinza de casca de arroz CCA, tem sido alvo de muitos estudos, pelo impacto nos âmbitos da ecologia, economia social e tecnologia. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de aplicação do silício via foliar sobre alguns componentes de rendimento e incidência de enfermidades. O experimento foi desenvolvido no período de dezembro 2018 a 2019. O cultivar utilizado foi IRGA422CL com 4 tratamentos e 5 repetições com diferentes doses de silício. O delineamento utilizado foi de blocos inteiramente casualizados, as variáveis analisadas: número de grão por panícula (NGP), número de panícula (NP), peso de mil sementes (PS), rendimento, incidência de danos na folha (IDF) e na espiga (IDE), foi realizado contrastes ortogonais. De acordo com os resultados não se prestaram diferenças entre os diferentes tratamentos para as variáveis NGP e rendimento. Para a variável NP foi observado altas significância no contraste realizado entre o Si+K e CCA, e para PS todos os contrastes foram significativas a favor dos tratamentos. Para IDH e IDE o uso de silício teve um efeito significativo quando comparadas com a testemunha. O uso de silício como alternativa nas lavouras de arroz ajudou positivamente nas características avaliadas.

Palavras-chave: cinza de casca de arroz, folhar, silício.

ABSTRACT

Silicon (Si) has been considered an almost essential element in plants. The by-product of the agricultural sector, such as CCA rice husk ash, has been the subject of many studies, due to its impact in the fields of ecology, social economy and technology. The aim of this study was to evaluate the effect of silicon application via leaf on some components of yield and incidence of diseases. The experiment was carried out from December 2018 to 2019. The cultivar used was IRGA422CL with 4 treatments and 5 repetitions with different doses of silicon. The completely randomized block design was used, the variables analyzed: number of grain per panicle (NGP), number of panicle (NP), weight of a thousand seeds (PS), yield, incidence of leaf damage (IDF) and ear (IDE), orthogonal contrasts were performed. According to the results, no differences were found between the different treatments for the NGP and yield variables. For the variable NP, high significance was observed in the contrast between Si + K and CCA, and for PS all contrastiles were significant in favor of treatments. For HDI and IDE, the use of silicon had a significant effect when compared to the control. The use of silicon as an alternative in rice fields helps positively in the evaluated characteristics.

Keywords: Rice husk silica, leaf, silicon

1 INTRODUÇÃO

O arroz é o segundo cereal mais consumido no mundo, a produção em 2020/21 estimasse cerca de 502,63 milhões de toneladas (FAO, 2021), número que está aumentando gradualmente devido à demanda projetada da população mundial. No Paraguai, há interesse socioeconômico em aumentar a produção do arroz, tomando por base o ano de 2008 a produção aumentou de forma exponencial na última década, alcançando na safra 2018/19 uma área semeada de 162.000 ha, com pequena redução na safra 2019/20 da ordem de 3% atingindo 158.000ha e produtividade de 704.000tn (MAG, 2020 & Enciso, 2020). Considerando este volume de produção, a casca de arroz (CA), que é um subproduto do processamento industrial do arroz e é de aproximadamente 20% em peso do peso do grão a granel (Hossain et al., 2018), gerando um volume considerável.

A casca de arroz (CA) tem como principais constituintes substâncias orgânicas 70-80%, principalmente celulose e lignina. O restante (20-30%), compreende elementos minerais formando sílica, álcalis e oligoelementos (Sarangi et al., 2009). A cinza de casca de arroz (CCA) obtida pelo processo de queima da casca de arroz (CA) tem em torno de 85-95% de sílica amorfa, é as suas propriedades dependem principalmente do processo aplicado no processo de queima a casca (Gonzalves & Bergmann, 2007). Tornando o uso de CCA, foco de investigações para identificar e conhecer os eventuais benefícios das aplicações nos cultivos.

A alternativa de uso da CCA para uma produção mais sustentável vem sendo alvo de interrogantes, já que para a exportação conforme Alimentarius (2018), os limites máximos de resíduos dependendo do país são mais restritivos, exigindo desta forma de estratégias para uma produção mais sustentável. Sendo assim,

O uso do silício pode desempenhar um papel importante na supressão dos efeitos de vários estresses, além de aumentar a resistência das plantas a fatores abióticos, como o caso da seca e salinidade (Yavaş & Aydın, 2017). O silício (Si) é classificado como o segundo elemento mais abundante com aproximadamente 29% de conteúdo médio (Sommer et al., 2006). Os efeitos positivos do uso do silício e sua alteração no crescimento das plantas, as influências no desenvolvimento das plantas de arroz estão sendo amplamente estudadas (Mitani & Ma, 2005; Nwugo & Huerta, 2008; Liu et al., 2017). Nas plantas, o Si pode reduzir o ângulo entre os caules e as folhas e altera a estrutura do dossel, a morfologia das plantas, tornando-as eretas e robustas, aumentando o tamanho do cloroplasto e o conteúdo de clorofila, o que melhora a fotossíntese e promove o acúmulo de matéria seca (Feng et al., 2010; Tripathi et al., 2016).

Uma estratégia de manejo que tem a capacidade de aumentar a produtividade das culturas e a adubação silicatada, que pode induzir a resistência das plantas contra fatores bióticos e abióticos, sendo capaz de reduzir a utilização indiscriminada de agrotóxicos (Mendonça et al., 2013), aumento da produtividade diminuição dos efeitos de metais tóxicos e tolerância ao estresse salino e hídrico (Rodrigues et al., 2011) e aumento da absorção de nutrientes (Gunes et al., 2008). A sílica obtida da cinza de casca de arroz que também é conhecida como sílica ativa, sílica amorfa ou sílica da casca do arroz, o qual possui um teor de sílica de ordem de 74 a 97% (Tahisma et al., 2012), também são encontradas formas cristalinas da sílica se o processo não for bem controlado no momento da queima (da Silva et al., 2007).

A forma de fornecimento de Si para as plantas tem sido alvo de vários estudos. Sendo que a diferença no acúmulo do Si entre as espécies é atribuída às diferenças na habilidade de absorção do elemento pelas raízes (Ma & Yamaji, 2006). Uma forma de contornar essa deficiência de absorção de Si e a adubação foliar, podendo fornecer este elemento benéfico de formas mais eficiente podendo ser considerada uma alternativa viável em várias culturas (Figueiredo et al., 2010; dos Reis Moreira et al., 2010). Os fungicidas foliares tem como finalidade proteger as folhas, preservar a integridade das vagens, que proporciona maior proteção às sementes em seu interior contra as intempéries climáticas (França Neto et al., 2010).

Em culturas como arroz, aveia-branca, cana-de-açúcar, cevada, feijão, milho, pastagens, sorgo, soja e trigo, têm sido realizado vários estudos demonstrados os efeitos benéficos da aplicação de Si (Ma et al., 2001; Gong et al., 2005; Castro et al., 2011; Soratto et al., 2012; Crusciol et al., 2013; Toledo et al., 2013, Menegale et al., 2015), abrangendo culturas acumuladoras e não-acumuladoras desse elemento. Porém, na agricultura paraguaia o uso do Si ainda é pouco conhecido e utilizado. Matérias alternativas como a cinza de casca de arroz (CCA) atuam como agrotóxicos pelos efeitos semelhantes (Bevilaqua et al., 2013; Cera, 2016; Perdanatika et al., 2018), mais o uso de CCA ajuda a fortalecer a estrutura da planta.

As pesquisas relacionadas sobre eficiência da aplicação folhar do Si e as vantagens no crescimento das plantas, rendimento a incidência de danos na folha e espiga, ainda são escassas, Miranda et al. (2018), afirmam que a aplicação de silício via foliar pode ser opção viável para as plantas, estimulando sua absorção e de outros nutrientes, proporcionado benefícios para às culturas. Dessa forma objetivou-se avaliar o efeito de aplicação do

silício via foliar sobre alguns componentes de rendimento e controle de enfermidades em lavouras de arroz.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no campo experimental da Facultad de Ingeniería Agronómica da Universidad Nacional del Este, Paraguai, nós perdido de dezembro 2018 a abril 2019, apresentando como coordenadas geográfica 25° 22' latitude sul e 54° 45' de longitude oeste. A precipitação média anual é de 1700 y 2000 mm, a temperatura media anual de 21,9°C (Dirección de Meteorología e Hidrología DINAC, 2017).

Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo da área e realizadas as análises químicas, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo avaliadas na camada de 0-0,20m. FIA-UNE, 2018

Ano	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V
	gdm ⁻³	CaCl ₂	----- ---	----- --	mmolcdm ⁻³	----- ---	----- ---	----- ---	(%)
2018	3,42	0,00	0,74	6,85	1,22	4,96	0,25		63,97

Fonte: Laboratorio de Suelo da Facultad de Ingeniería Agronómica – Universidad Nacional del Este

O experimento foi conduzido em vasos plásticos com capacidade de 20 litros que foram preenchidos com 14,5 kg de solo peneirado em peneira de malha de 4 mm.

O delineamento experimental utilizado foi blocos inteiramente casualizado, com quatro tratamento e com cinco repetições. Os tratamentos consistiram em tratamento controle (sem Si) (T0), um produto comercial a base de Si+K (25,5g de Silicato + 12,0g de Potássio) (T1), e, doses Si obtida a partir da queima de cinza de casca de arroz carbonizada, que contém alto teor de sílica amorfa (> 90% de SiO₂), o equivalente utilizado foi de 10 e 20 g de cinza de casca de arroz carbonizada (T2 e T3), referente a cada dose, para cada aplicação.

As aplicações foram realizadas em quatro etapas fenológicas V4, V12, R2 e R6, de forma foliar, atendendo o estágio vegetativo, a irrigação foi realizada diariamente. 92% aproximadamente da cinza de casca de arroz apresenta oxido de silício, e os outros 8% são compostos por nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês.

A aplicação via foliar foi realizada através de um pulverizador elétrico costal. Para manter as folhas das plantas cobertas por uma película de cinza pelo maior período possível. Cada tratamento foi diluído em 20L de água e aplicados nas respectivas doses de Si mais 2,5ml de adjuvante, o volume da cauda (água e cinza) obtida foi dividida em 4 aplicações para cada etapa fenológica. Para as aplicações via foliar foi recoberto com

plástico visando proteger os vasos ao redor para não comprometer os demais tratamentos. Foi realizado cuidados culturais com monitoramento semanal da lavoura.

A colheita foi realizada manualmente, utilizando toda a área útil quando 90% das panículas apresentavam os grãos com uma umidade próxima a 13%. As mesmas foram então colhidas, embaladas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar até atingirem 13% de umidade, momento em que ocorreu a debulha e o armazenamento em câmara fria. Foram realizadas as avaliações dos componentes do rendimento das seguintes variáveis: número de grão por panícula (NGP): foi determinado pela contagem do número de panículas (NP); peso de mil sementes (PMS) e rendimento (REN): foi determinado pelo número total de sementes por planta em relação ao peso de mil sementes; o rendimento foi obtido pela pesagem de grãos colhidos, sendo o peso corrigido para a umidade de 13%. O número de grãos foi determinado por contagem manual dos grãos, em cada unidade experimental, para o análise do controle sobre os danos de doenças foi realizado índice de dano na folha e na espiga.

Os dados foram submetidos à análise de variância, que quando houve efeito significativo, foram determinados os seguintes contrastes ortogonais 1- T0 vs T1; T2; T3; 2- T1 vs T2, T3; 3- T2 vs T3 ($p < 0,05$), em que as médias dos contrastes foram comparadas utilizando o Teste de F ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 estão apresentados os resultados de ANOVA, da cultivar IRGA 424 RI. Os dados referentes ao número de grãos por panícula e rendimento, não apresentaram diferença significativa para os tratamentos testados. Trabalhos realizados por Salinas (2013), em experimentos analisando aplicação foliar de silicato de alumínio em plantas de soja, não observou diferenças significativas para as variáveis número total de vagens por planta. Observações realizadas por Mauad et al. (2003), avaliando doses de Si em arroz, não verificaram alterações na produtividade deste cereal, assemelhando aos resultados obtidos neste experimento. Contrastando com os dados obtidos por Wattanapayapkul et al. (2011), onde observaram que o aumento da taxa de aplicação de silício teve como resultado um aumento no rendimento dos grãos.

Os resultados obtidos neste ensaio não estão de acordo com os encontrados por Segalin et al. (2013), quem não observaram diferenças na produção de sementes de trigo quando fertilizado via foliar com diferentes doses de silício. No entanto Cuong et al. (2017), observaram que a fertilização com silício na cultura de arroz foi altamente

significativa para os componentes de rendimento (número de perfilho) comparadas com as plantas controle. Avaliando a fertilização silicatada via solo em condições adequadas de cultivo Tavares et al. (2014), observaram incremento no número de sementes, peso hectolétrico e rendimento de sementes de trigo.

Tabla 2. Quadrados Médios (Q.M.) obtidos na Análise de variância da aplicação de doses de silício via foliar na cultivar IRGA 424 RI para as variáveis número de grão por panícula (NGP), número de panícula (NP), peso de mil sementes (PS), rendimento (REN), índice de dano em folha (IDH) e índice de dano na espiga (IDE)

	Quadrado Medio						
	GI	NGP ^{ns}	NP*	PMS*	REN ^{ns}	IDH*	IDE*
Tratamento	3	21.46	135.21	0.29	50.21	771.86	1071.63
Residuo	16	16.06	23.62	0.005	29.97	2.71	59.36
Media Geral	-	51.27	68.89	2.13	54.44	14.75	40.35
CV (%)	-	7.81	7.05	3.59	10.05	11.16	19.09

* Significativo 5% de probabilidade; n.s. não significativo

Observaram-se de forma geral que a utilização de silício nas diferentes concentrações supera os valores encontrados para o T0 (Tabela 3). Na variável número de panícula (NP) o contraste ortogonal que apresento diferenças significativas foi quando comparadas com o Si+K com relação as doses de cinza de casca de arroz carbonizada (CCA), isto poderia ser explicado por o fato de que o Si+K contem 25,5g de silicato na composição e as doses utilizadas nos outros tratamentos foram menores. Segundo Pati et al. (2016), afirmam que a resposta do arroz à aplicação de Si e variada em função da variação de sua aplicação, onde observou um aumento nos rendimentos de grãos e palha, registrados quando foi aplicado Si em dose maior. Corroborando com os encontrados por Wattanapayapkul et al. (2011), ressaltaram que a aplicação do Silício no rendimento de grãos teve um aumento de 19 – 43% sobre o controle o qual teve de 2-14%. Cuong et al. (2017) e Pati et al. (2016), observaram que a deficiência de silício diminuiu o número de panículas por m² assim como a porcentagem de grãos recheados, em condição de seca Ma et al. (2004), também observaram que o uso de silício mitigou a redução de grãos recheados da planta de arroz estressadas.

A variável peso de mil sementes apresentou diferenças significativas nos três contrastes ortogonais realizados (Tabela 3), observando-se assim que aplicação folhar de silício presenta diferenças em relação à testemunha. Resultados semelhantes foram obtidos por Cuong et al. (2017), onde o componente de rendimento (peso de mil sementes) foi significativamente afetado pela aplicação de Si.

Tabela 3. Contrastes ortogonais para as variáveis número de grão por panícula (NGP), número de panícula (NP), peso de mil sementes (PMS), rendimento (REN), índice de dano na folha e espiga (IDH) e (IDE)

Contrastes	Coeficientes				Quadrado Médio					
	T0	T1	T2	T3	NGP	NP	PMS	REN	IDH	IDE
T0 vs T1, T2, T3	3	-1	-1	-1	41.88 ^{ns}	68.65 ^{ns}	0.18**	27.08 ^{ns}	2292.0**	3180.49**
T1 vs T2, T3	0	2	-1	-1	1.48 ^{ns}	288.98**	0.14**	34.18 ^{ns}	1.89 ^{ns}	22.21 ^{ns}
T2 vs T3	0	0	1	-1	21.03 ^{ns}	48.00 ^{ns}	0.54**	89.40 ^{ns}	22.17*	12.21 ^{ns}

* Significativo 5% de probabilidade; ** significativo 1% de probabilidade; *ns* não significativo

Com relação a variáveis índice de dano na folha e na espiga, pode-se observar que o contraste T0 vs T1, T2, T3 apresentou aumento de forma significativa com a aplicação de silício, o que reflete diretamente na produtividade dos grãos. Pode-se explicar segundo Gunes et al. (2008), que o silício depositado na parede celular da epiderme das folhas forma uma dupla camada de sílica- cutícula e sílica- celulose que melhora o fortalecimento e a rigidez da parede celular, aumentando a resistência ao ataque de pragas. Concordando com resultados obtidos por Sun et al. (2010), que realizaram uma aplicação de Silício em plantas de arroz onde conferem proteção parcial (índice de severidade da doença de 33%) em comparação com o tratamento controle. Em trabalhos realizados por Wattanapayapkul et al. (2011), utilizando quatro dose de silício para controle de brusone, os resultados mostraram que o sílico aplicado ao arroz suprimiu a ocorrência da docência, onde o índice de severidade nas folhas diminuiu significativamente quando foi aplicado o sílico comparando como o tratamento controle, concordando com os resultados obtidos em este experimento.

Para o contraste T2 vs T3, para a variável IDH foi significativo, demonstrando que entre as diferentes quantidades de cinza de casca de arroz utilizada existe diferenças. Figueiredo et al. (2010), Crusciol et al. (2013), afirmam que a aplicação foliar de Si representa um método importante para o fornecimento de Si devido a sua eficiência, praticidade, menores taxas de uso e adaptabilidade aos pulverizadores comumente utilizados.

4 CONCLUSÕES

A aplicação de Si afetou positivamente as características agrônômicas avaliadas. Pode-se concluir que a aplicação de silício ajudaria na produção sustentável de arroz, sendo um meio potencial de controle de incidência de danos além de melhor a produtividade do arroz.

AGRADECIMENTOS

Ao Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) pelo financiamento do projeto de número PINV 15- 372 com recursos do FEEI.

REFERÊNCIAS

Agostinho, F. B., Tubana, B. S., Martins, M. S., & Datnoff, L. E. (2017). Effect of different silicon sources on yield and silicon uptake of rice grown under varying phosphorus rates. *Plants*, 6(3), 35. <http://dx.doi.org/10.3390/plants6030035>

Alimentarius, C. Límites máximos de residuos (LMR) y recomendaciones sobre la gestión de riesgos (RGR) para residuos de medicamentos veterinarios en los alimentos. CAC/MRL, 2-2015, 2018.

Bevilaqua, G. A. P., Antunes, I. F., Eberhardt, P. E. R., Eichholz, C. J., & Grehs, R. C. Indicações Técnicas para Produção de Sementes de Feijão para a Agricultura Familiar. Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E). 2013 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/992177/1/circular141.pdf>

Castro, G. S. A., Calonego, J. C., & Crusciol, C. A. C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.46, n.12, p.1690-1698, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001200015>

Cera, L. G. Aplicação foliar e via solo de cinza de casca de arroz no rendimento da soja. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, p. 87, 2016. Dissertação de Mestrado. http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPL_0ccd850d3a3ff5cc5db56e9d5fa8773f

Crusciol, C. A. C., Soratto, R. P., Castro, G. S. A., Costa, C. H. M. D., & Ferrari Neto, J. (). Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, n.2, p.404-410, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000200025>

Crusciol, C. A. C., Soratto, R. P., Castro, G. S. A., Ferrari Neto, J., & da Costa, C. H. M. Leaf application of silicic acid to upland rice and corn. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2803-2808, 2013 <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6p2803>

Cuong, T. X., Ullah, H., Datta, A., & Hanh, T. C. Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of Vietnam. *Rice Science*, v. 24(5), p.283-290, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.06.002>

da Silva, E. J., Tashima, M. M., & Akasaki, J. L. Estudo de Reações Expansivas em Argamassa de Cimento Portland Com Cinza de Casca de Arroz (CCA). *HOLOS Environment*, v. 7, p. 72-86, 2007. <https://doi.org/10.14295/holos.v7i1.974>

de Mendonça, A. O., Tavares, L. C., Brunes, A. P., Monzón, D. L. R., Villela, F. A. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. *Bioscience Journal*, v. 29 n.5. p. 1154- 1162, 2013. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22432>

Dirección de Meteorología e Hidrología. 2017. Publicaciones. Disponible en: <http://www.meteorologia.gov.py/Boletines>

dos Reis Moreira, A., Fagan, E. B., Martins, K. V., & de Souza, C. H. E. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. *Bioscience Journal*, 26(3). 2010. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7122>

Enciso. V (2020) Arroz: Datos, estadísticas y comentarios. Boletín informativo. Disponible: http://www.agr.una.py/ecorural/ecorural_arroz.php

FAO. 2021. Perspectivas de cosechas y situación alimentaria - Informe trimestral mundial No 4, diciembre 2020. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb2334es>

Feng J, Shi Q, Wang X, Wei M, Yang F, Xu H. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. *Scientia Horticulturae*; 123: p.521-530, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.10.013>

Figueiredo, F. C.; Botrel, P. P.; Teixeira, C. P.; Petrazzini, L. L.; Locarno, M.; Carvalho, J. G. Pulverização foliar e fertirrigação com silício nos atributos físico-químicos de qualidade e índices de coloração do morango. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1306-1311, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000500032>.

França Neto, J. D. B., Krzyzanowski, F. C., Henning, A. A., & de Pádua, G. P. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2010. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/866714/1/minicurso01.pdf>

Gong H.; Zhu, X.; Chen, K.; Wang, S.; Zhang, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, v.169, p.313-321, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.02.023>

Gonzalves M.R.F, Bergmann C.P. Thermal insulators made with rice husk ashes: production and correlation between properties and microstructure. *Constr Build Mater*. v.21, n. 12, p. 2059–2065, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.057>

Gunes, A.; Pilbeam, D.J.; Coban, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. In:

Communications in soil science and plant analysis, New York, v. 39, n. 13-14, p. 1885-1903, 2008. <https://doi.org/10.1080/00103620802134651>

Hossain, S. S., Mathur, L., & Roy, P. K. Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review. *Journal of Asian Ceramic Societies*, v.6, n.4, 299-313. 2018. <https://doi.org/10.1080/21870764.2018.1539210>

Liu, Q., Zhou, X., & Sun, Z. (2017). Application of silicon fertilizer affects nutritional quality of rice. *Chilean journal of agricultural research*, 77(2), 163-170. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392017000200163>

Ma, J. F., N. Mitani, S. Nagao, S. Konishi, K. Tamai, T. Iwashita, and M. Yano. Characterization of the silicon uptake and molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. *Plant Physiology* v.136, p. 3284–89, 2004. <https://doi.org/10.1104/pp.104.047365> Ma, J.F.; Miyake, Y.; Takahashi, E. Silicon as a beneficial element for crop plants, In: Datnoff, L.E.; Snyder, G.H.; Korndörfer, G.H. (Eds). *Silicon in Agriculture*. The Netherland, Elsevier Science, ISBN: 9780444502629, p.17-39. 2001.

Ma, J.F.; Yamaji, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, v.11, p.392-397, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>

MAG (2020). Síntesis estadísticas. Producción agropecuaria. Disponible en <http://www.mag.gov.py/indx.php/institucion/dependencias/sintesis-estadistica>

Mauad M., Grassi Filho H., Crusciol C.A.C, Corrêa J.C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.5, p. 867-873, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500011>

Menegale, M. D. C., Castro, G. S. A., & Mancuso, M. A. C. (2015). Silício: interação com o sistema solo-planta. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v.4, n. especial, p.435-454, 2015. https://www.researchgate.net/publication/282008661_SILICIO_INTERACAO_COM_O_SISTEMA_SOLO-PLANTA

Miranda, P. S., Moraes, T. R., dos Santos, J. R. E., Carvalho, F. D., Viana, J. P., & Pérez-Maluf, R. Aplicação de silício na cultura do milho. *Revista de Ciências Agroambientais*, v., n.16(1), p.1-6, 2018. <https://doi.org/10.5327/Z1677-606220181853>

Mitani, N., Ma, J.F. Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany*, v.56, n.414, p.1255-1261, 2005. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri121>

Nwugo, C.C., and Huerta, A.J. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. *Plant and Soil* 311: p.73-86, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9659-4>

Pati, S., Pal, B., Badole, S., Hazra, G. C., & Mandal, B. Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.47, n.3, p. 284-290, 2016. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2015.1122797>

Perdanatika, A., Suntoro, S., & Pardjanto, P. (2018). The Effects of Rice Husk Ash and Dolomite on Soybean Yield at Latosol Soil. *SAINS TANAH-Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 15(1), 29-34. <http://dx.doi.org/10.15608/stjssa.v15i1.21620>

Rodrigues, F.A.; Oliveira, L.A.; Korndörfer, A.P. e Korndörfer, G.H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. *Informações Agronômicas* N° 134. International Plant Nutrition Institute, Brasil. P. 14- 20, 2011. [http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/66D3EE234A3DA5CD83257A8F005E858A/\\$FILE/Page14-20-134.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/66D3EE234A3DA5CD83257A8F005E858A/$FILE/Page14-20-134.pdf)

Salinas, J. C.T. Efeito da aplicação de silicato de alumínio no rendimento e qualidade de sementes de soja. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, p. 78, 2013. Tese Doutoral. <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/123456789/1391>

Sarangi M, Bhattacharyya S, Behera RC. Effect of temperature on morphology and phase transformations of Nano crystalline silica obtained from rice husk. *Phase Transitions*. v.82, n.5, p.377–386, 2009. <https://doi.org/10.1080/01411590902978502>

Segalin, S.R.; Huth, C.; Rosa, T.A.; Pahins, D.B.; Mertz, L.M.; Nunes, U.R. e Martin, T.N. Foliar application of silicon and the effect on wheat seed yield and quality. *Journal of Seed Science*, vol. 35, n. 1, p. 86-91, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-15372013000100012>

Sommer, M., Kaczorek, D., Kuzyakov, Y., & Breuer, J. Piscinas e fluxos de silício em solos e paisagens - uma revisão. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.169, n.3, p. 310-329, 2006. <https://doi.org/10.1002/jpln.200521981>

Soratto, R. P., Crusciol, C. A. C., Castro, G. S. A., Costa, C. H. M. D., & Ferrari Neto, J. Leaf application of silicic acid to white oat and wheat. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.5, p. 1538-1544, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500018>

Sun, W., Zhang, J., Fan, Q., Xue, G., Li, Z., & Liang, Y. Silicon-enhanced resistance to rice blast is attributed to silicon-mediated defence resistance and its role as physical barrier. *European journal of plant pathology*, v. 128, n.1, p. 39-49, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9625-x>

Tashima, M. M., Fioriti, C. F., Akasaki, J. L., Bernabeu, J. P., Sousa, L. C., & Melges, J. L. P. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. *Ambiente Construído*, v.12, n.2, p. 151-163, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000200010>

Tavares, L.C.; Fonseca, D.A.R; Rufino, C.A.; Oliveira, S. de; Brunes, A.P.; Villela, F.A. Adubação silicatada em trigo: rendimento e qualidade de sementes. *Revista de la Facultad de Agronomía*, v. 113, n. 1, p. 94-99, 2014. <http://revista.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/99>

Toledo, M. Z., Castro, G. S. A., Crusciol, C. A. C., Soratto, R. P., Nakagawa, J., & Cavariani, C. Physiological quality of soybean and wheat seeds produced with alternative potassium sources. *Revista Brasileira de sementes*, v.33, n.2, p. 363-371, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000200019>.

Tripathi DK, Singh S, Singh VP, Prasad SM, Dubey NK, Chauhan DK. Silicon nanoparticles more effectively alleviated UV-B stress than silicon in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings. *Plant Physiology & Biochemistry*; 110: p.70, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.06.026>

Wattanapayapkul, W., A. Polthanee, B. Siri, N. N. Bhadalung, and A. Promkhambut. Effect of silicon in suppressing blast disease and increasing grain yield of organic rice in northeast Thailand. *Indian Journal of Plant Pathology*. v.5, p.134–145. 2011. <http://dx.doi.org/10.3923 / ajppaj.2011.134.145>

Yavaş, İ., & Aydın, Ü. N. A. Y. The role of silicon under biotic and abiotic stress conditions. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, v.4, p.2, p. 204-209, 2017. <http://dx.doi.org/10.19159/tutad.300023>