

PRODUCTIVITY AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF IRRIGATED RICE SEEDS UNDER SALT STRESS AND CARBONIZED RICE HUSK ASHES FERTILIZATION

PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD FISIOLÓGICA DE LAS SEMILLAS DE ARROZ IRRIGADAS BAJO ESTRÉS SALINO Y FERTILIZACIÓN CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ CARBONIZADA

Elisa Souza-Lemes¹, Sandro de Oliveira¹, Lizandro Ciciliano-Tavares¹, André Oliveira de Mendonça¹, Igor Dias-Leitzke¹, Géri Eduardo-Meneghello², A. Carlos Souza Albuquerque Barros²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes-UFPEL/FAEM. Campus Universitário-Caixa Postal 354-CEP 96001-970. (lemes.elisa@yahoo.com.br). ²UFPEL/FAEM. (acbarros@ufpel.edu.br), (gmeneghello@gmail.com).

ABSTRACT

The yield potential of rice in Brazil can be severely impaired by salinity, which affects about 2 % of the country's rice cultivation lands. Conditions of high salinity may be caused by inappropriate irrigation practices and soil flooding by sea water in coastal regions. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of carbonized rice husk ashes applied to the soil on the yield and physiological seed quality of rice grown under salt stress. The experimental design was randomized blocks with five levels of factor A (0.0, 500, 1000, 1500 and 2000 kg ha⁻¹ of rice husk ash) and three of factor B (0.0, 4.0, and 8.0 mM of NaCl) applied to the soil, with four replications. The response variables were the number of panicles per plant, number of seeds per plant, seed weight per plant, number of sterile glumes per plant and 1000 seed weight. The physiological quality of seeds was assessed through the germination test, first germination count, cold test, accelerated aging, seedling shoot and root lengths and field emergence. The salinity caused a negative effect on the agronomic traits and physiological quality of rice seeds. Weight and physiological quality of rice seeds were positively affected by increasing doses of carbonized rice husk ashes, even in the presence of salt concentrations in the soil.

Keywords: *Oryza sativa* L., silicate salinity, germination, vigor.

INTRODUCTION

Rice is the staple food of over half the world's population, with significant influence on socio-economic development. Brazil is

ABSTRACT

El potencial del rendimiento del arroz en Brasil puede ser muy perjudicado por la salinidad, que afecta cerca de 2 % de las tierras cultivables con arroz del país. Las condiciones de alta salinidad pueden ser causadas por prácticas de riego inadecuadas e inundaciones de suelos con agua marina en regiones costeras. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la ceniza de cáscara de arroz carbonizada aplicada al suelo sobre el rendimiento y la calidad fisiológica de la semilla sembrada bajo condiciones de estrés. El diseño experimental fue bloques al azar con cinco niveles de factor A (0.0, 500, 1000, 1500 y 2000 kg ha⁻¹ de ceniza de cáscara de arroz) y tres de factor B (0.0, 4.0, y 8.0 mM de NaCl) aplicados al suelo, con cuatro réplicas. Las variables de respuesta fueron el número de panículas por planta, el número de semillas por planta, el peso de semillas por planta, número de glumas estériles por planta y el peso de 1000 semillas. La calidad fisiológica de las semillas se evaluó con la prueba de germinación, conteo de primera germinación, prueba de frío, envejecimiento acelerado, tallo de plántula y longitud de raíces y emergencia de campo. La salinidad causó un efecto negativo sobre características agronómicas y calidad fisiológica de las semillas de arroz. En el peso y la calidad fisiológica de las semillas de arroz hubo un efecto positivo por dosis en aumento de ceniza de cáscara de arroz, incluso en presencia de concentraciones de sal en el suelo.

Palabras clave: *Oryza sativa* L., salinidad de silicato, germinación, vigor.

* Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: June, 2014. Approved: January, 2016.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 50: 307-321. 2016.

among the top ten world producers, with about 12 million Mg of rice in 2012/2013, which was 2.2 % more than the previous cropping season. The states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina account for almost 75 % of Brazil's rice harvest (Conab, 2013).

About 2 % of Brazil's rice area is affected by soil salinity (Menezes-Benavente *et al.*, 2004), compromising yield potential. For irrigated rice one of the main factors determining the quality of irrigation is water salinity, which is due to excessive concentrations of soluble salts (Gomes *et al.* 2004) that disrupt plant growth. Conditions of high salinity may be caused by inappropriate irrigation practices and soil flooding by sea water in coastal regions (Tester and Davenport, 2003). In Rio Grande do Sul, the standard for rice irrigation is to flood the rice fields, which could lead to soil salinization, especially in cropping areas that use water from coastal rivers like the Tramandaí and Mampituba rivers, and Lagoons Patos, Mirim and Mangueira, which are subjected to salinization by seawater input when the level of these water springs decreases.

The intensity of salt stress upon rice cultivation is determined by the soil salt composition, the intensity and duration of stress, soil and climatic conditions, species cultivar and the crop's phenological stage (Maas and Hoffman, 1977). Regarding the latter, rice seeds are relatively tolerant during germination but very sensitive at the seedling stage. After establishment, plant tolerance increases progressively until panicle differentiation, decreasing again through the flowering stage (Yoshida, 1981).

Proper plant nutrition is a key factor for satisfactory crop production. Silicon (Si) is beneficial for various crops (Korndorfer *et al.*, 2002); it is needed for plant development (Epstein, 1994), especially in grasses, contributing to their adaptation to biotic and abiotic stresses. Silicon is important for rice cultivation (Pereira *et al.*, 2004) since it increases growth and yield rates, it positively interacts with nitrogenous, phosphate and potassium fertilizers and provides resistance to biotic (pests and diseases) and abiotic (drought, salinity, lodging) stresses, and enhances productivity in soils with high levels of Al, Fe and Mn (Savant *et al.*, 1997). Besides, Si may be involved in plant metabolic or physiological activities under salt or water stress or both (Gunes *et al.*, 2008).

In Brazil there are several commercial products containing Si, such as gray carbonized rice husk, with

INTRODUCCIÓN

El arroz es el alimento básico de más de la mitad de la población mundial, con una influencia significativa sobre el desarrollo socioeconómico. Brasil está entre los primeros diez productores en el mundo, con unos 12 millones de Mg de arroz en 2012/2013, esto es 2.2 % más que en la temporada previa. Los estados de Rio Grande do Sul y Santa Catarina producen casi 75 % del arroz de Brasil (Conab, 2013).

La salinidad del suelo afecta alrededor de 2 % del área arrocera de Brasil (Menezes-Benavente *et al.*, 2004) y compromete el potencial de rendimiento. Para el arroz bajo riego, uno de los principales factores que determina la calidad del riego es la salinidad del agua, que se debe a concentraciones excesivas de sales solubles (Gomes *et al.* 2004) que afectan el crecimiento de la planta. Las condiciones de alta salinidad pueden ser causadas por prácticas inadecuadas de riego e inundaciones del suelo con agua marina en regiones costeras (Tester y Davenport, 2003). En Rio Grande do Sul, el estándar para el riego de arroz es inundar los arrozales, lo cual podría causar la salinización del suelo, en especial en áreas de cultivo que usan agua de ríos costeros como los ríos Tramandaí y Mampituba rivers, y lagunas Patos, Mirim y Mangueira, sujetas a la salinización por la entrada de agua marina cuando el nivel de estos manantiales se reduce.

La intensidad del estrés por salinidad sobre el cultivo de arroz está determinada por la composición de sales en el suelo, la intensidad y duración del estrés, condiciones climáticas y del suelo, cultivar de la especie y la etapa fenológica del cultivo (Maas y Hoffman, 1977). Respecto a este último, las semillas de arroz son relativamente tolerantes durante la germinación, aunque muy sensibles en la etapa de plántula. Después de establecida, la tolerancia de la planta aumenta de manera progresiva hasta la diferenciación de panículas, y se reduce de nuevo hasta la etapa de floración (Yoshida, 1981).

La nutrición adecuada de la planta es un factor clave para la producción satisfactoria del cultivo. El silicio (Si) es benéfico para varios cultivos (Korndorfer *et al.*, 2002); es necesario para el desarrollo de la planta (Epstein, 1994), en especial en pastos, contribuyendo a su adaptación, tanto al estrés biótico como abiótico. El Si es importante para el cultivo de arroz (Pereira *et al.*, 2004) ya que aumenta las tasas

a concentration of 92 % Si (Foletto, 2005) and can be used as a very efficient source of Si due to its high concentration. Rio Grande do Sul is Brazil's largest rice producer (Conab, 2013), generating rice husks as a by-product of rice milling, thus making it easily available, especially in the southern part of the state. According to Chungsangunsit *et al.* (2004), the rice husk accounts for 20 % of the total rice weight. After the complete combustion of rice hulls for power generation, approximately 20 %, is converted to gray (Pouey, 2006).

Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of rice husk ashes applied onto the soil on the yield and physiological quality of rice seeds produced under salt stress.

MATERIALS AND METHODS

This experiment was conducted in a greenhouse and at the Seed Testing Laboratory (LAS) Flavio Farias Rocha, Plant Science Department, Agronomy Eliseu Maciel (FAEM) Faculty, Federal University of Pelotas (UFPel).

The experimental design was randomized blocks with a factorial arrangement of: 1) Rice husk ashes 0.0, 500, 1000, 1500, and 2000 kg ha⁻¹; 2) NaCl 0.0, 4.0 and 8.0 mM; with four replications. Gray carbonized rice husks, milled to achieve a uniform particle size, was used as Si source, and rice cultivar IRGA 424 was the testing material.

Prior to sowing, seeds were treated with MAXIM XL® (Fludioxonil + Metalaxyl-M) fungicide, CRUISER 350 FS® (Thiamethoxam) insecticide and Color Seed® polymer, at concentrations of 150, 150 and 300 mL 100 kg seed⁻¹, respectively, with a spray volume of 1200 mL 100 kg seed⁻¹, which was completed with water. Seed coating was performed manually, according to the methodology described by Nunes (2005).

The coated seeds were thereafter sown into pots filled with soil collected from the A1 horizon of a Eutrophic Haplic Planosol Solodicin (Streck *et al.*, 2008), belonging to the mapping unit Pelotas; soil was sieved to achieve particle uniformity. The fertilization was adjusted according to the results of soil analysis and recommendations by the Committee on Soil Chemistry and Fertility - RS / SC (2004). Liming was performed 30 d prior to sowing and rice husk ashes were applied at time of sowing, incorporated into the soil at a depth of 0.1 m. Treatments were 0.0, 500, 1000, 1500 and 2000 kg ha⁻¹ SiO₂, adjusting the concentrations to the soil volume of the experimental units (pots). Since gray carbonized rice husk contains approximately 92 % Si (range between 88-96 %), the equivalent to 0.0, 1.90,

de crecimiento y rendimiento, interactúa de forma positiva con fertilizantes nitrogenados, de fosfato y potasio, y da resistencia al estrés biótico (plagas y enfermedades) y abióticos (sequía, salinidad, encañado) y promueve la productividad en suelos con niveles altos de Al, Fe y Mn (Savant *et al.*, 1997). Además, el Si puede estar involucrado en actividades metabólicas o fisiológicas en el estrés por sal o agua o ambos (Gunes *et al.*, 2008).

En Brasil hay varios productos comerciales que contienen Si, como cáscara gris carbonizada de arroz, con una concentración de 92 % Si (Foletto, 2005) y se puede usar como una fuente efectiva de Si debido a su concentración alta. Rio Grande do Sul es el mayor productor de arroz de Brasil (Conab, 2013) y generan cáscara de arroz como un subproducto de la molienda de arroz, por lo cual está disponible, sobre todo en el sur del estado. Según Chungsangunsit *et al.* (2004), la cáscara del arroz representa 20 % del peso total del arroz. Después de la combustión completa de la cáscara para generar energía, cerca de 20 % es convertido en ceniza (Pouey, 2006).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la ceniza de cáscara del arroz aplicada al suelo sobre el rendimiento y la calidad fisiológica de las semillas de arroz producidas bajo estrés salino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento se realizó en un invernadero y en el Laboratorio de Análisis de Semillas (LAS) Flavio Farias Rocha, Departamento de Fitotecnia, Facultad de Agronomía Eliseu Maciel (FAEM), Universidad Federal de Pelotas (UFPel).

El diseño experimental fue bloques al azar con un arreglo factorial de: 1) Cenizas de cáscara de arroz 0.0, 500, 1000, 1500, y 2000 kg ha⁻¹; 2) NaCl 0.0, 4.0 y 8.0 mM; con cuatro repeticiones. La ceniza de cáscara de arroz carbonizada, molida para lograr un tamaño de partículas uniforme, se usó como fuente de Si y el material de prueba fue cultivar de arroz IRGA 424.

Antes de la siembra, las semillas se trataron con el fungicida MAXIM XL® (Fludioxonil + Metalaxyl-M), insecticida CRUISER 350 FS® (Thiamethoxam) y el polímero Color Seed®, a concentraciones de 150, 150 y 300 mL 100 kg semilla⁻¹, respectivamente, con un volumen de aspersión de 1200 mL 100 kg semilla⁻¹, que se completó con agua. Las semillas fueron recubiertas manualmente, según la metodología descrita por Nunes (2005).

Después, las semillas cubiertas fueron plantadas en macetas con tierra recolectada del horizon A1 de un Planosol Solodicin

3.80, 5.71, 7.61 g pot of gray carbonized rice husk was used, respectively, for increasing levels of Si.

Each experimental unit was sown with 10 seeds, thinning down to two seedlings per pot after emergence. Pots were irrigated daily in the morning, with the respective concentrations of NaCl according to treatment. The soil in each pot was maintained at field capacity until the establishment of the water shield, 30 d after emergence. The experiment was thus conducted until reaching the field maturation phase.

The inflorescences and seeds were assessed for agronomic traits and physiological quality, for which individual panicles were manually threshed, recording: 1) Number of panicles per plant (NPANPL): count of all panicles from each plant; 2) number of seeds per plant (NSPL): manual counting of seeds per plant; 3) seed weight per plant (SWPL): estimated through the weight of all seeds from individual plants, corrected to 13 % moisture content and expressed in g plant^{-1} ; 4) number of sterile glumes per plant (NSGPL): quantified through manual counting of all seeds from each experimental unit and expressed as number of vain seeds plant^{-1} ; 5) 1000 seed weight (1000W): estimated through eight 100-seed samples weighed in analytical scale; data for the above are presented as mean, standard deviation and coefficient of variance; 6) 1000 seed weight estimated by multiplying the mean value by the factor of 10 (Brasil, 2009).

The assessment of seed physiological quality involved:

- 1) Germination (G) test: performed according to the Brazilian Rules for Seed Testing-RAS (Brasil, 2009), sowing 200 seeds in each experimental unit, divided in four replicates of 50 seeds each. The seeds were placed on wet germitest paper roll, adding 2.5 times the weight of the dry paper roll of distilled water. The germitest paper rolls were placed in a germination chamber at 25 °C, the seedling count was performed 14 d after sowing, and results expressed as percentage of normal seedlings.
- 2) First germination count (FGC): performed 7 d after the start of the test; it involved counting the normal seedlings within each replication. The results were expressed as percentage of normal seedlings;
- 3) Cold test (CT): four replicates of 50 seeds for each experimental unit were uniformly distributed on germitest paper rolls, moistened with distilled water at a ratio of 2.5 times the weight of dry paper. Immediately after the germitest rolls were placed in plastic bags, which were sealed and kept in a BOD chamber set at 10 °C \pm 1 °C for 7 d. Afterward the rolls were transferred to a germination chamber and maintained under the same conditions of the germination test, assessing the percentage of normal seedlings after 7 d.
- 4) Accelerated, aging (AA): seeds were uniformly spread over a metal screen suspended in the germination box, containing

Háplico Eutrófico (Streck *et al.*, 2008), perteneciente a la unidad de mapeo Pelotas; el suelo fue tamizado para obtener una uniformidad de partículas. La fertilización se ajustó según los resultados del análisis de suelo y recomendaciones del Comité de Química y Fertilidad de Suelos - RS / SC (2004). Un encalado se realizó 30 d antes de plantar y las cenizas de cáscaras de arroz se aplicaron al momento de plantar, e incorporadas al suelo a una profundidad de 0.1 m. Los tratamientos fueron 0.0, 500, 1000, 1500 y 2000 kg ha^{-1} SiO_2 , ajustando las concentraciones al volumen del suelo de las unidades experimentales (macetas). Debido a que la ceniza de cáscara de arroz carbonizada contiene alrededor de 92 % Si (fluctúa de 88 a 96 %), se usó el equivalente a 0.0, 1.90, 3.80, 5.71, 7.61 g maceta de ceniza de cáscara de arroz carbonizada, respectivamente, para los niveles en aumento de Si.

En cada unidad experimental se plantaron 10 semillas, lo cual se rebajó a dos plántulas por maceta después de emergencia. Las macetas se regaron cada día por la mañana, con las respectivas concentraciones de NaCl según el tratamiento. La tierra en cada maceta se mantuvo a capacidad de campo hasta establecer la lámina de agua, 30 d después de emergencia. El experimento se realizó hasta alcanzar la fase de madurez de campo.

En las inflorescencias y semillas se evaluaron características agronómicas y calidad fisiológica, para lo cual se trillaron panículas individuales, registrando: 1) Número de panículas por planta (NPANPL): conteo de todas las panículas de cada planta; 2) número de semillas por planta (NSPL): conteo manual de semillas por planta; 3) peso de semillas por planta (SWPL): calculado por el peso de todas las semillas de plantas individuales, corregido a contenido de humedad de 13 % y expresado en g planta^{-1} ; 4) número de glumas estériles por planta (NSGPL): cuantificados por el conteo manual de todas las semillas de cada unidad experimental y expresado como número de semillas vacías planta^{-1} ; 5) peso de mil semillas (1000W): calculado con ocho muestras de 100 semillas, pesadas en una báscula analítica; los datos para lo anterior se presentan como promedio, desviación estándar y coeficiente de varianza; 6) peso de 1000 semillas, calculado multiplicando el valor promedio por el factor de 10 (Brasil, 2009).

La evaluación de calidad fisiológica de semillas involucró:

- 1) Prueba de germinación (G): realizada según las Reglas brasileñas para la prueba de semillas – RAS (Brasil, 2009), sembrando 200 semillas en cada unidad experimental, divididas en cuatro réplicas de 50 semillas cada una. Las semillas fueron colocadas sobre un rollo de papel germitest húmedo, agregando 2.5 veces el peso del rollo de papel seco de agua destilada. Los rollos de papel germitest se colocaron en una cámara de germinación a 25 °C, el recuento de plántulas se realizó 14 d después de la siembra, y los resultados se expresan como el porcentaje de plántulas normales.

40 mL of distilled water. The boxes were capped and placed in growth chamber at 42 °C for 96 h. Afterward, the seeds were germinated according to the methodology described for the germination test and evaluated on the seventh day. The results were expressed as percentage of normal seedlings.

- 5) Seedling shoot length (SL) and root length (RL): seedlings from four replicates of 20 seeds for each experimental unit were collected after 7 d in the germination chamber at 25 °C, and the root and shoot lengths of ten randomly selected seedlings were measured using a ruler (mm).
- 6) Field emergence (FE): 200 seeds per treatment were sown in small plots and seedling emergence recorded on a single count at 21 d after sowing with results expressed as percentage of normal seedlings.

The experimental data were subjected to ANOVA by the Winstat Statistical Analysis System version 1.0 and treatment means were compared by the Tukey test ($p \leq 0.05$). The effect of Si concentrations on the response variables was analyzed through polynomial regressions ($p \leq 0.05$). Data on percentage basis were transformed [$\text{arc.sen}(\sqrt{x/100})$] prior to analysis of variance.

RESULTS AND DISCUSSION

Only main factor effects were detected through ANOVA for number of panicles per plant (NPANPL), number of sterile glumes per plant (NSGPL), germination test (G), cold test (CT), accelerating aging (AA), root length (RL) and field emergence (FE) (Cuadro 1). Interaction between Si levels and salt concentration was observed for the response variables seed weight per plant (SWPL), thousand seed weight (1000W), first germination count (FGC) and shoot length (SL).

The number of panicles per plant (NPANPL) for the control NaCl concentration treatment (0 mM) was higher than for the other treatments (Figure 1). Increased NaCl concentrations contributed to the formation of sterile glumes. The mean number of sterile glumes per plant (NSGPL) was 21 units higher for the 8 mM concentration in relation to the control treatment; however, no differences on this trait were observed between the 4 mM and 8 mM concentration treatments, respectively. Productivity losses due to salinity can occur due to several causes, such as an induced reduction of the photosynthetic capacity (Sultana *et al.*, 1999) and lower assimilate accumulation in kernels (Asch *et al.*, 2000), which will decrease the filling rate due to insufficient carbohydrate supply to the panicles (Khatun and Flowers, 1995).

- 2) Primer recuento de germinación (PCG): realizado 7 d después del inicio de la prueba; requirió un conteo de las plántulas normales dentro de cada repetición, y los resultados se expresan como el porcentaje de plántulas normales.
- 3) Prueba de frío (CT): cuatro repeticiones de 50 semillas para cada unidad experimental se distribuyeron uniformemente sobre rollos de papel germitest y humedecidas con agua destilada en una proporción de 2.5 veces el peso del papel seco. Después, los rollos de germitest se colocaron en bolsas de plástico, se sellaron y guardaron en una cámara BOD a $10 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$ por 7 d. Después, los rollos se transfirieron a una cámara de germinado y se mantuvieron en las mismas condiciones que la prueba de germinado, evaluando el porcentaje de plántulas normales después de 7 d.
- 4) Envejecimiento acelerado (EA): las semillas se colocaron uniformemente sobre una rejilla de metal suspendida en la caja de germinación con 40 mL de agua destilada. Las cajas se taparon y colocaron en una cámara de crecimiento a 42 °C por 96 h. Después, las semillas se germinaron según la metodología descrita para la prueba de germinado y evaluadas el día siete. Los resultados se expresaron como el porcentaje de plántulas normales.
- 5) Longitud de tallo de plántula (LP) y de raíz (LR): plántulas de cuatro repeticiones de 20 semillas para cada unidad experimental se recolectaron después de 7 d en la cámara de germinado a 25 °C, y con una regla graduada (mm) se midieron las longitudes de raíz y tallos de 10 plántulas elegidos al azar.
- 6) Emergencia en campo (EC): 200 semillas por tratamiento se plantaron en macetas pequeñas y se registró la emergencia de plántulas en un solo conteo 21 d después de la siembra; los resultados se expresaron como el porcentaje de plántulas normales.

Los datos experimentales se analizaron con ANOVA por el Winstat Statistical Analysis System versión 1.0 y los promedios de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El efecto de concentraciones de Si sobre las variables de respuesta se analizó con regresiones polinomiales ($p \leq 0.05$). Los datos sobre la base de porcentajes se transformaron [$\text{arc.sen}(\sqrt{x/100})$] antes del análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Solamente los efectos de factores principales se detectaron con ANOVA para número de panículas por planta (NPANPL), número de glumas estériles por planta (NSGPL), prueba de germinación (G), prueba de frío (PF), envejecimiento acelerado (AA), longitud de raíz (RL) y emergencia en campo (FE). La interacción entre los niveles de Si y la concentración de sales se observó para las variables

Table 1. Analysis of variance, mean squares and their significance for number of panicles per plant (NPANPL), number of seeds per plant (NSPL), seed weight per plant (SWPL), number of sterile glumes per plant (NSGPL), thousand seed weight (1000W), first germination count (FGC), germination test (G), cold test (CT), accelerated aging (AA), shoot length (SL), root length (RL) and field emergence (FE) originating from seeds of rice cultivar IRGA 424, due to the levels of carbonized rice husk ashes and NaCl concentrations applied to the soil. Pelotas, Brazil, 2013.

Cuadro 1. Análisis de varianza, cuadrados medios y su significancia por número de panículas por planta (NPANPL), número de semillas por planta (NSPL), peso de semillas por planta (SWPL), número de glumas estériles por planta (NSGPL), peso de mil semillas (1000W), conteo de primera germinación (FGC), prueba de germinación (G), prueba de frío (PF), envejecimiento acelerado (EA), longitud de tallo (LT), longitud de raíz (LR) y emergencia en campo (EC) originado de semillas del cultivar de arroz IRGA 424, debido a los niveles de cenizas de cáscara de arroz carbonizado y concentraciones de NaCl aplicadas al suelo. Pelotas, Brasil, 2013.

SV	DF	NPANPL	NSPL	SWPL	NSGPL	1000W	G
NaCl	2	308.26*	3360440*	3665.6*	2167.9*	26.89*	18.16*
Level	4	5.34*	41218.5*	4.6 ns	5786.8*	0.42*	1.36ns
S x L	8	1.26ns	13836.8*	11.88*	192.07ns	0.34*	0.04ns
Residual	45	0.68	6275.9	1.99	271.57	0,061	1.22
C.V. (%)		5.5	6.5	4.3	10.2	1.1	1.2
SV	DF	FGC	CT	AA	SL	RL	FE
NaCl	2	140.01*	327.4*	516.02*	0.0017*	0.0009*	74.15*
Level	4	21.17*	27.88*	22.61*	0.0086*	3.5E-05*	14.52*
S x L	8	6.52*	2.81ns	1.25ns	0.0001*	9.1E-05ns	4.63ns
Residual	45	2.03	6.05	3.73	1.5E-05	1.05E-05	3.09
C.V. (%)		1.6	2.9	2.1	3.3	5.9	1.9

SV: source of variation; DF: degrees of freedom. *F-test, $p \leq 0.05$; ns: not significant ♦ FV: fuente de variación; GL: grados de libertad. *F-test, $p \leq 0.05$; ns: no significativo.

For NSPL, SWPL and 1000W, saline concentration 0 mM yielded higher values than 4 and 8 mM, at all doses of SiO_2 concentration (Table 2). According to Rhoades *et al.* (2000), salinity affects the development and yield of plants, which is manifested through reductions on plant stand and seed development, with symptoms similar to drought stress. Soil salinity may be due to irrigation with saline water or by a combination of factors, such as water, soil and crop management, which may increase days to harvest, and reductions on the number of seed filling sites and seed weight, impacting directly on seed mean yields.

Thousand seed weight varies according to the genotype and may be related to seed vigor, it is influenced by environmental conditions and management, such as plant nutrition (Carvalho and Nakagawa, 2000). This was observed in our study, since salinity stress interfered on the thousand seed weight; besides, seeds weight is reduced as a function of salinity for castor (Silva *et al.*, 2008) and peanut (Correia *et al.*, 2009).

Interaction between both main factors was observed for first germination count and shoot length

de respuesta peso de semilla por planta (SWPL), peso de mil semillas (1000W), conteo de primera germinación (CPG) y longitud de tallo (LT) (Cuadro 1).

El número de panículas por planta (NPANPL) para el tratamiento testigo de concentración de NaCl (0 mM) fue más alto que para los otros tratamientos (Figura 1). Concentraciones mayores de NaCl contribuyeron a la formación de glumas estériles. El promedio de glumas estériles por planta (NSGPL) fue 21 unidades mayor para la concentración de 8 mM en relación con el testigo; sin embargo, no se observaron diferencias en esta característica entre los tratamientos de 4 mM y 8 mM, respectivamente. Las pérdidas en productividad por salinización pueden ocurrir por varias causas, como una reducción inducida de la capacidad fotosintética (Sultana *et al.*, 1999) y una menor acumulación de asimilados en los granos (Asch *et al.*, 2000), lo cual reducirá la tasa de llenado debido a un suministro insuficiente de hidratos de carbono a las panículas (Khatun y Flowers, 1995).

Para NSPL, SWPL y 1000W, la concentración salina de 0 mM dio valores mayores a 4 y 8 mM en todas las dosis de concentraciones de SiO_2 (Cuadro

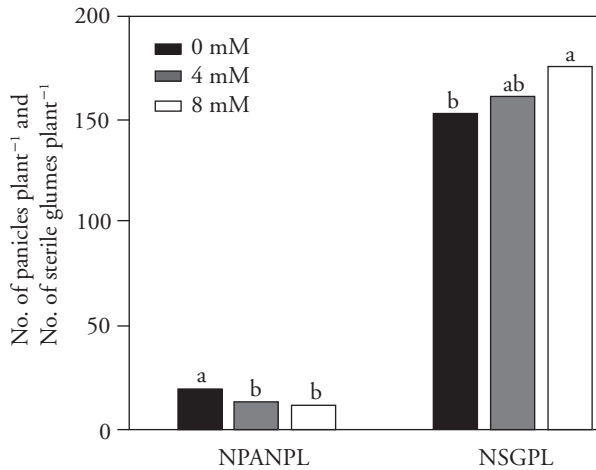


Figure 1. Mean numbers for panicles per plant (NPANPL) and sterile glumes per plant (NSGPL) in rice cultivar IRGA 424, the application of different carbonized rice husk ashes levels and NaCl concentrations to the soil. Pelotas, RS, Brazil, 2013. Means with different letter in each factor are statistically different (Tukey; $p \leq 0.05$).

Figura 1. Números promedio para panículas por planta (NPANPL) y glumas estériles por planta (NSGPL) en el cultivar de arroz IRGA 424, la aplicación de diferentes niveles de cenizas de cáscara de arroz carbonizadas y concentración de NaCl al suelo. Pelotas, RS, Brasil, 2013. Promedios con letras diferentes en cada factor son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

(Table 2). Thus, 0 mM concentration yielded higher values than all the other treatments, but there were no differences for $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ SiO}_2$ concentration compared to 4 mM treatment as well as for $2000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Si}$ concentration between treatments 4 and 8 mM. Shoot length measurements were highest at the 0 mM treatment, whereas for $2000 \text{ kg SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ there were no differences for shoot length between treatments 0 mM and 4 mM. No interactions were established between carbonized rice husk ashes levels and NaCl concentration on the root length. Root lengths were highest for the control treatment (0 mM), regardless of the level of applied carbonized rice husk ashes.

The mean number of panicles per plant (NPANPL) fitted a quadratic model (Figure 2A) with increasing values up to a dose equivalent to $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ SiO}_2$. The NaCl concentrations between 0–4 mM fitted a quadratic model also for the mean number of seeds per plant (NSPL) (Figure 2B). At the 0 mM salt concentration a 4.28 % increase (72

2). Según Rhoades *et al.* (2000), la salinidad afecta el desarrollo y el rendimiento de las plantas, lo cual se manifiesta a través de las reducciones en el conteo de plantas y el desarrollo de las semillas, con síntomas similares al estrés por sequía. La salinidad del suelo puede deberse al riego con agua salina o a una combinación de factores, como la gestión de agua, suelo y cultivos, que puede aumentar la cantidad de días hasta la cosecha, y reducir los números de sitios de llenado de semillas y peso de las semillas, que impacta directamente los rendimientos promedio de las semillas.

El peso de mil semillas varía según el genotipo y el potencial de rendimiento puede estar relacionado con el vigor de la semilla. Es influenciado por las condiciones ambientales y por el manejo, como la nutrición de la planta (Carvalho y Nakagawa, 2000). Esto se observó en nuestro estudio, ya que el estrés por salinidad interfirió con el peso de mil semillas; además, el peso de las semillas se reduce en función de la salinidad para el ricino (Silva *et al.*, 2008) y el cacahuate (Correia *et al.*, 2009).

La interacción entre ambos factores principales se observó para el conteo de la primera germinación y la longitud del tallo (Cuadro 2). Por lo tanto, la concentración de 0 mM dio valores mayores a los de los demás tratamientos, pero no hubo diferencias significativas para la concentración de $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ SiO}_2$ en comparación con el tratamiento de 4 mM y el de concentración de $2000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Si}$ entre tratamientos de 4 y 8 mM. Las medidas de longitud de tallo fueron mayores en el tratamiento 0 mM, mientras que para $2000 \text{ kg SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ no hubo diferencias en longitud de tallo entre los tratamientos 0 mM y 4 mM. No se establecieron interacciones entre niveles de cenizas de cáscara de arroz carbonizada y concentración de NaCl en la longitud de la raíz. Las longitudes de raíz fueron mayores para el tratamiento testigo (0 mM), más allá del nivel de cenizas de cáscara de arroz carbonizada aplicada.

El promedio de panículas por planta (NPANPL) se ajustó a un modelo cuadrático (Figura 2A) con valores en aumento, hasta una dosis equivalente a $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ SiO}_2$. Las concentraciones de NaCl entre 0 y 4 mM también se ajustó a un modelo cuadrático para el número promedio de semillas por planta (NSPL) (Figura 2B). La concentración de sal de 0 mM aumentó 4.28 % (72 semillas por planta) al aumentar los niveles de SiO_2 a 600 kg ha^{-1} . A pesar de un bajo

Table 2. Mean number of seeds per plant (NSPL), seed weight per plant (SWPL), thousand seed weight (1000W), first germination count (FGC), shoot length (SL) and mean root length (RL) of seedlings grown from seeds of rice cultivar IRGA 424, due to the levels of carbonized rice husk ashes and NaCl concentrations applied to the soil. Pelotas, Brazil, 2013.

Cuadro 2. Número promedio de semillas por planta (NSPL), peso de semillas por planta (SWPL), peso de mil semillas (1000W), conteo de primera germinación (FGC), longitud de tallo (SL) y longitud promedio de raíz (RL) de plántulas desarrolladas de semillas del cultivar de arroz IRGA 424, debido a los niveles de cenizas de cáscara de arroz carbonizada y las concentraciones del NaCl aplicadas al suelo. Pelotas, Brasil, 2013.

SiO ₂ (kg ha ⁻¹)	NSPL			SWPL (g)			1000W (g)		
	0 mM	4 mM	8 mM	0 mM	4 mM	8 mM	0 mM	4 mM	8 mM
0	1669 a	1034 b	932 b	46.88 a	28.91 b	21.08 c	23.34 a	22.06 b	21.53 c
500	1795 a	1196 b	909 c	47.34 a	29.60 b	21.42 c	24.23 a	22.16 b	21.53 c
1000	1742 a	1080 b	865 c	48.88 a	30.20 b	21.02 c	24.24 a	22.25 b	21.19 b
1500	1672 a	1027 b	919 b	49.32 a	27.33 b	24.73 c	23.52 a	22.28 b	21.33 c
2000	1521 a	1005 b	883 b	49.61 a	26.80 b	24.39 b	23.42 a	22.33 b	20.95 c
Means	1680	1068	901	48.4	28.57	22.53	23.75	22.22	21.3
C.V (%)		6.5			4.3			1.1	

SiO ₂ (kg ha ⁻¹)	FGC (%)			SL (m)			RL (m)		
	0 mM	4 mM	8 mM	0 mM	4 mM	8 mM	0 mM	4 mM	8 mM
0	93 a	88 b	86 b	0.089 a	0.060 b	0.059 b	0.06	0.052	0.048
500	94 a	93 a	88 b	0.140 a	0.117 b	0.117 b	0.062	0.054	0.049
1000	95 a	92 b	90 c	0.137 a	0.128 b	0.128 b	0.064	0.057	0.049
1500	95 a	91 b	89 b	0.139 a	0.129 b	0.123 b	0.064	0.058	0.048
2000	91 a	89 a	89 a	0.136 a	0.130 ab	0.128 b	0.060	0.056	0.046
Means	94	90	88	0.128	0.113	0.111	0.061 a	0.055 b	0.048 c
CV (%)		1.6			3.3			5.9	

Means with different letter within each factor are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$) ♦ Promedios con diferentes letras dentro de cada factor son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

seeds per plant) was observed when increasing SiO₂ levels up to 600 kg ha⁻¹. Despite a low coefficient of determination (R²), maximum efficiency was achieved at a level of 722 kg ha⁻¹ carbonized rice husk ashes, that is an increase of 4.39 % (47 seeds per plant) as compared to the control treatment. The mean number of seeds per plant did not change for the 8 mM, implying no response to the increase on SiO₂ concentrations. Singh *et al.* (2005) observed that Si fertilization increased the number of panicles per unit area as well as productivity, when Si was applied in two consecutive rice harvests.

The seed weight per plant (Figure 2C) fitted a positive linear model for the NaCl concentration range 0 to 8 mM, where the highest SiO₂ dose applied to the soil (2000 kg ha⁻¹) caused an increase of 3 to 4 g plant⁻¹, respectively. For the 0 to 4 mM concentration, the data fitted a quadratic model with maximum efficiency at 525 kg SiO₂ ha⁻¹

coeficiente de determinación (R²), se obtuvo la eficiencia máxima con 722 kg ha⁻¹ de cenizas de cáscara de arroz carbonizadas, es decir, un aumento de 4.39 % (47 semillas por planta) comparado con el tratamiento testigo. La cantidad promedio de semillas por planta no cambió para los 8 mM, lo que implica una respuesta nula al aumento de las concentraciones de SiO₂. Singh *et al.* (2005) observaron que la fertilización con Si aumentó el número de panículas por unidad de área, y la productividad al aplicar Si en dos cosechas consecutivas de arroz.

El peso de semillas por planta (Figura 2C) se ajustó a un modelo lineal positivo para el rango de concentración de NaCl de 0 a 8 mM, donde la mayor dosis de SiO₂ aplicada al suelo (2000 kg ha⁻¹) causó un aumento de 3 a 4 g plant⁻¹, respectivamente. Para la concentración de 0 a 4 mM, los datos se ajustaron a un modelo cuadrático con la eficiencia máxima en 525 kg SiO₂ ha⁻¹ (29.57 g planta⁻¹). Tahir *et al.*

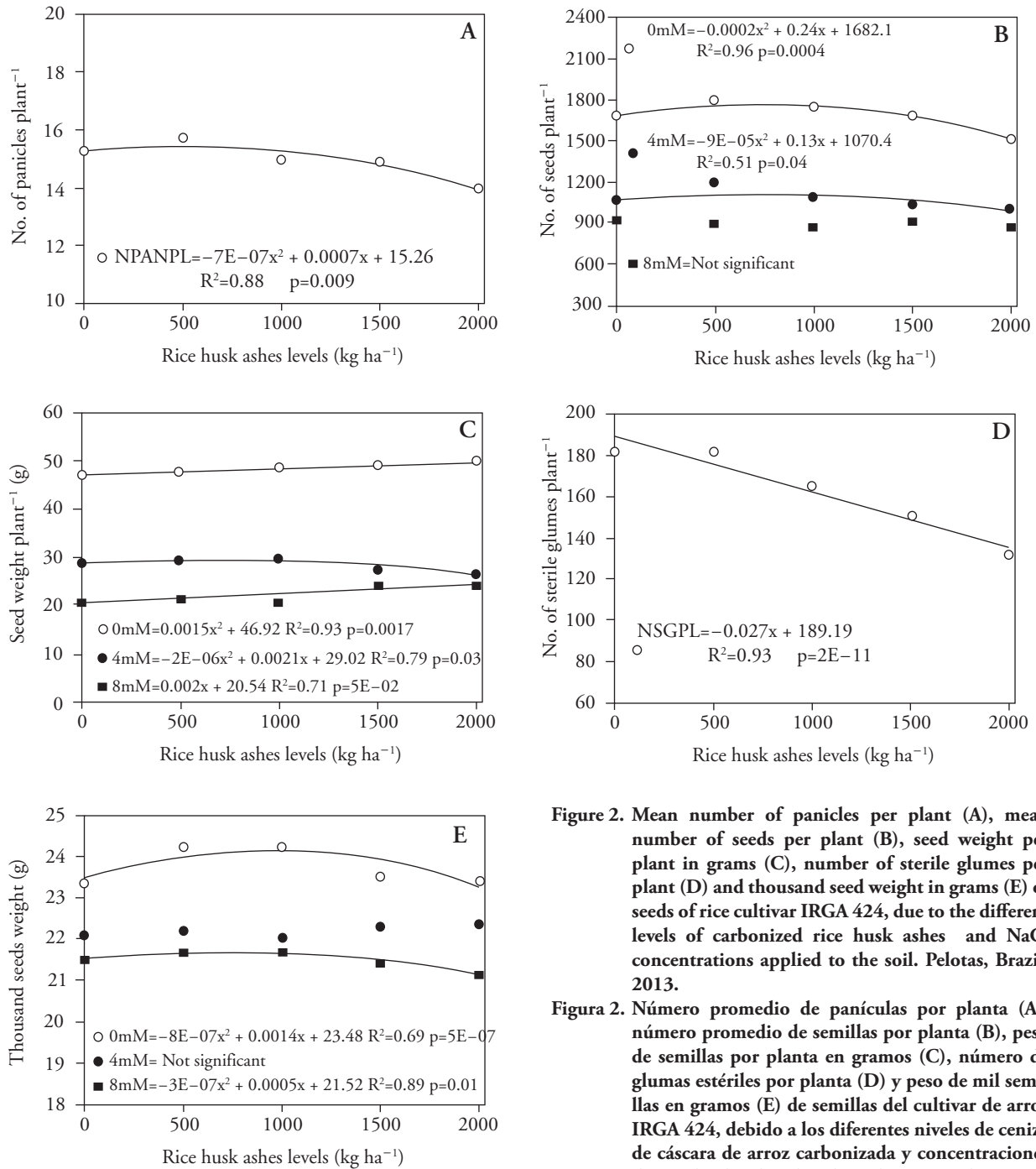


Figure 2. Mean number of panicles per plant (A), mean number of seeds per plant (B), seed weight per plant in grams (C), number of sterile glumes per plant (D) and thousand seed weight in grams (E) of seeds of rice cultivar IRGA 424, due to the different levels of carbonized rice husk ashes and NaCl concentrations applied to the soil. Pelotas, Brazil, 2013.

Figura 2. Número promedio de panículas por planta (A), número promedio de semillas por planta (B), peso de semillas por planta en gramos (C), número de glumas estériles por planta (D) y peso de mil semillas en gramos (E) de semillas del cultivar de arroz IRGA 424, debido a los diferentes niveles de ceniza de cáscara de arroz carbonizada y concentraciones de NaCl aplicados al suelo. Pelotas, Brasil, 2013.

(29.57 g plant⁻¹). Tahir *et al.* (2006) found that the application of calcium silicate significantly increased the seed yield of two wheat genotypes, both under normal and salty conditions, stressing its importance on the mineral nutrition of wheat.

The mean number of sterile glumes per plant (Figure 2D) decreased 0.027 units for each unit

(2006) encontraron que la aplicación de silicato de calcio aumentaba significativamente el rendimiento de semillas de dos genotipos de trigo, ambos bajo condiciones normales y salinas, enfatizando su importancia en la nutrición mineral del trigo.

El número promedio de glumas estériles por planta (Figura 2D) disminuyó 0.027 unidades por cada

increase in the dose of carbonized rice husk ashes, whereas at the highest dose (2000 kg ha⁻¹) this decrease was 28.54 % (54 glumes by sterile plant) relative to the zero dose. According to Pershin *et al.* (1995), Si fertilization enhances grain yield and thousand seed weight, and reduces spikelet sterility.

NaCl concentration from 0 to 8 mM had no effect on the thousand seed weight (Figure 2E), but there were no differences for the 4 mM concentration across the SiO₂ doses. For 0 mM an increase in the thousand seed weight was observed, up to a 875 kg ha⁻¹ SiO₂ dose. For the 8 mM salt concentration, the maximum seed weight was achieved for 833 kg ha⁻¹ SiO₂. Oliveira *et al.* (2015) reported the benefits of bulk Si application on soybean seeds. However, calcium silicate, applied as powder or granulated, did not change the thousand seed weight and seed yield (Juliatti *et al.*, 2004). The thousand seed weight is an important quality indicator that may increase productivity, since heavier seeds result in higher yields.

The results for physiological seed quality, germination, cold test, accelerated aging and field emergency, showed no interaction between the NaCl concentration and SiO₂ dose; therefore, only treatment means for salt concentrations were compared (Figure 3), and the effect of SiO₂ doses was studied with a polynomial regression (Figure 4A, 4B and 4C). The values for these variables at the NaCl concentration 0 mM were higher than for the other NaCl concentrations. According to Vieira *et al.* (1994) and Marcos Filho (2005), seed physiological quality is more influenced by the prevailing environmental conditions during the ripening and harvesting stages, than by the type of cultivar itself. Lima *et al.* (2005) found a decrease in the germination percentage of rice seeds due to the increase in salt concentration, suggesting that salinity affects the development of normal seedlings and decreases the vigor and viability of seeds. Likewise, Deuner *et al.* (2011), in seed from different cowpea genotypes, found that the increase of soil salt concentration caused a negative effect on the first germination count and on the final germination value.

Final germination values (Figure 4A) were not affected by SiO₂ levels applied to the soil, which is similar to that found in common oat seeds (Toledo *et al.*, 2011) and seeds of *Brachiaria* (Santos *et al.*, 2010) with increasing Si doses. However, the

aumento de unidades en la dosis de ceniza de cáscara de arroz carbonizada, mientras que en la dosis más alta (2000 kg ha⁻¹) esta reducción fue 28.54 % (54 glumas por planta estéril) relativa a la dosis cero. Según Pershin *et al.* (1995), la fertilización con Si fomenta el rendimiento de grano y el peso de mil semillas, y recude la esterilidad de la espiguilla.

El NaCl entre 0 y 8 mM no afectó el peso de mil semillas (Figura 2E), pero no hubo diferencias con la concentración de 4 mM para las dosis de SiO₂. Para 0 mM se observó un aumento en el peso de mil semillas, hasta la dosis de SiO₂ de 875 kg ha⁻¹. Para la concentración de sal de 8 mM, el peso máximo de semilla obtenido fue 833 kg ha⁻¹ SiO₂. Oliveira *et al.* (2015) reportaron los beneficios de aplicar Si en a granel a semillas de soya. Sin embargo, el silicato de calcio, aplicado como polvo o granulado, no modificó el peso de mil semillas y rendimiento de semillas (Juliatti *et al.*, 2004). El peso de mil semillas es un importante indicador de la calidad que puede aumentar la productividad, ya que las semillas más pesadas pueden causar mayores rendimientos.

Los resultados para las pruebas de calidad fisiológica de las semillas, germinación, prueba de frío, envejecimiento acelerado y emergencia en campo, no presentaron interacción entre las concentraciones de NaCl y dosis de SiO₂; por lo tanto, solamente se compararon medias de tratamientos para concentraciones de sal (Figura 3), y el efecto de las dosis de SiO₂ se estudió con una regresión polinomial (Figura 4A, 4B y 4C). Los valores para estas variables en la concentración de NaCl de 0 mM fueron mayores que para las otras concentraciones de NaCl. Según Vieira *et al.* (1994) y Marcos Filho (2005), la calidad fisiológica de la semilla tiene mayor influencia de las condiciones ambientales predominantes durante las etapas de maduración y cosecha que de el mismo tipo de cultivar. Lima *et al.* (2005) encontraron una reducción en el porcentaje de germinación de semillas de arroz debido al aumento en la concentración de sales, lo que sugiere que la salinidad afecta el desarrollo de las plántulas normales y reduce el vigor y viabilidad de las semillas. Asimismo, Deuner *et al.* (2011), en diferentes genotipos de caupí, encontraron que el aumento en la concentración de sal en el suelo tenía un efecto negativo en el primer conteo de germinación y en el valor final de la germinación.

Los valores finales de germinación (Figura 4A) no fueron afectados por los niveles de SiO₂ aplicados al

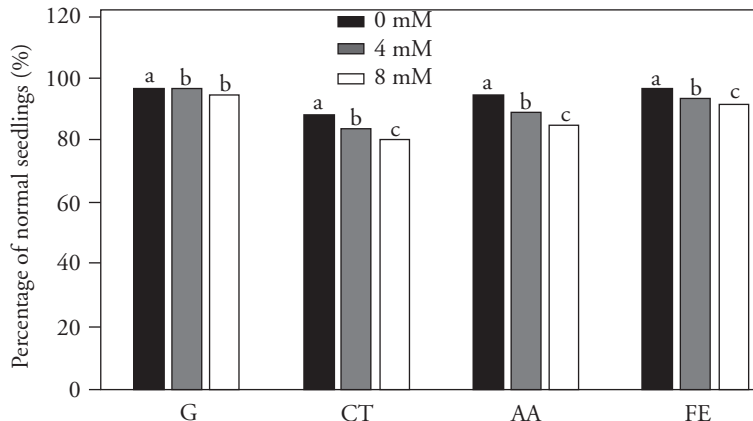


Figure 3. Percentage of normal seedlings form germination test (G), cold test (CT), accelerated aging (AA) and field emergence (FE) originating from seeds of rice cultivar IRGA 424, due to the different levels of carbonized rice husk ashes and NaCl concentrations applied to the soil. Pelotas, Brazil, 2013. Means with different letter within each factor are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figura 3. Porcentaje de plántulas normales de las pruebas de germinación (G), de frío (CT), envejecimiento acelerado (AA) y emergencia en campo (FE) que originan de semillas del cultivar de arroz IRGA 424, debido a los diferentes niveles de cenizas de cáscara de arroz carbonizada y de concentraciones de NaCl aplicadas al suelo. Pelotas, Brasil, 2013. Los promedios con diferentes letras dentro de cada factor son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

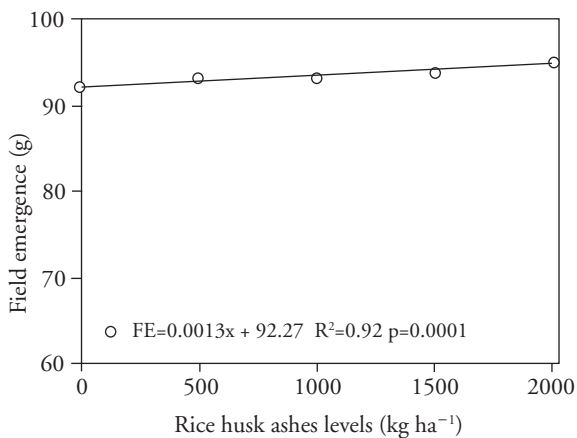
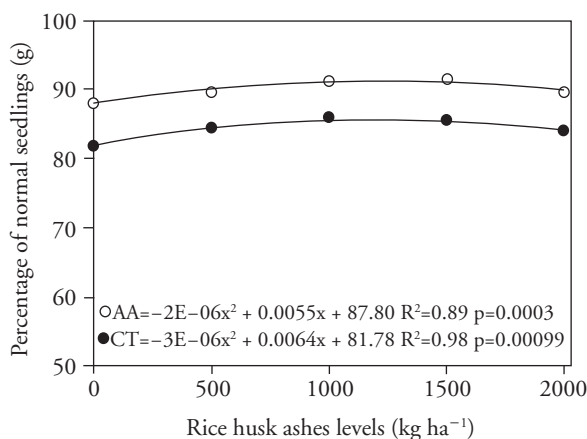
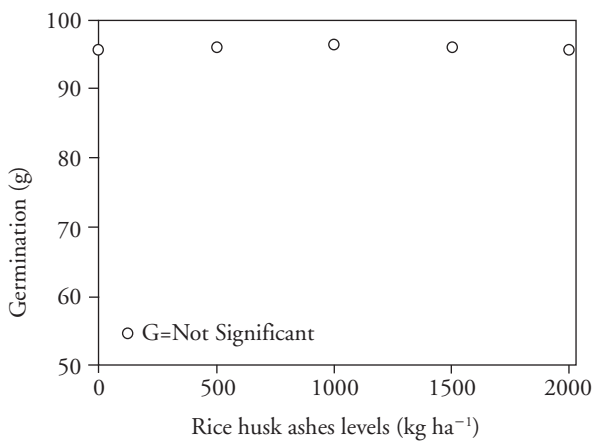


Figure 4. Germination (A), cold test and accelerated aging (B) and field emergence (C) of seedlings grown from seeds of rice cultivar IRGA 424, resulting from the application of different levels of carbonized rice husk ashes and NaCl concentrations applied to the soil. Pelotas, Brazil, 2013.

Figura 4. La germinación (A), prueba de frío y envejecimiento acelerado (B) y la emergencia en campo (C) de plántulas plantadas de semillas del cultivar de arroz IRGA 424, resultante de la aplicación de varios niveles de concentración de cenizas de cáscara de arroz carbonizada y NaCl aplicadas al suelo. Pelotas, Brasil, 2013.

application of Si increased germination of wheat seeds under salt stress (Matichenkov *et al.*, 2005). Figure 4B shows that the accelerated aging and cold tests responded in a similar fashion to increased doses of SiO₂, both exhibiting a positive quadratic behavior. The accelerated aging test yielded higher germination (92 %) up to 1375 kg SiO₂ ha⁻¹. The highest percentage of normal seedlings for the cold test was recorded for 1067 kg SiO₂ ha⁻¹, with 85 % germination. According to Ran *et al.* (1997), Si enhances biological capacity of seeds and seedlings to tolerate harsh environmental conditions. As for the field emergence test, Figure 4C shows that 2000 kg SiO₂ ha⁻¹ yielded an increase of 2.6 % as compared to the control treatment.

Increasing the NaCl concentration from 0 mM to 4 mM for carbonized rice husk ashes concentrations of up to 950 to 900 kg ha⁻¹, respectively, increased the percentage of normal seedlings for the first germination count (Figure 5), whereas higher concentrations reduced the count values. The highest germination count at salt concentration of 8 mM was at a carbonized rice husk ashes dose of 1150 kg ha⁻¹, whereas higher doses reduced normal seedling counts but in all cases above those for the control treatment. The comparison of the three salt concentrations seem to show that the highest NaCl concentration requires higher carbonized rice husk ashes doses to achieve the point of maximum efficiency.

Increase on the application of carbonized rice husk ashes yielded larger shoot lengths (Figure 5B). For the NaCl concentration of 0 mM the point of maximum efficiency was obtained with 1333 kg ha⁻¹ carbonized rice husk ashes, resulting in an increase of 0.053 m on seedling length. For the NaCl concentration of 4 mM increases on shoot length were recorded up to the 1250 kg ha⁻¹ carbonized rice husk ashes dose, representing an increase of 0.063 m. The increase on shoot length for NaCl concentration of 8 mM was 0.083 m at a dose of 1667 kg ha⁻¹ carbonized rice husk ashes. Seedlings with higher early growth rate have the potential to originate higher yielding plants, since a larger leaf area will provide for a higher photosynthetic rate. According to Gustafson *et al.* (2004), plants exhibiting high speed of emergence and early growth have priority on the use of ambient resources and, therefore, have a competitive advantage on their use.

Root length showed a slight increase to increasing NaCl concentrations (Figure 5C) up to 1167 kg ha⁻¹

suelo, similares a lo encontrado en semillas de avena común (Toledo *et al.*, 2011) y semillas de *Brachiaria* (Santos *et al.*, 2010) con dosis crecientes de Si. Sin embargo, la aplicación de Si aumentó la germinación de semillas de trigo bajo estrés por salinidad (Matichenkov *et al.*, 2005). La Figura 4B muestra que las pruebas de envejecimiento acelerado y de frío respondieron de manera semejante a las dosis crecientes de SiO₂, ya que ambas mostraron un comportamiento cuadrático positivo. La prueba de envejecimiento acelerado presentó una germinación mayor (92 %) hasta 1375 kg SiO₂ ha⁻¹. El porcentaje más alto de plántulas normales para la prueba de frío se registró para 1067 kg SiO₂ ha⁻¹, con germinación de 85 %. Según Ran *et al.* (1997), el Si fomenta la capacidad biológica de las semillas y plántulas para tolerar condiciones ambientales severas. Respecto a la prueba de emergencia en campo, la Figura 4C muestra que 2000 kg SiO₂ ha⁻¹ produjeron un aumento de 2.6 % en comparación con el tratamiento testigo.

El aumento de la concentración de NaCl de 0 mM a 4 mM para concentraciones de cenizas de cáscara de arroz carbonizada hasta 950 a 900 kg ha⁻¹, respectivamente, aumentó el porcentaje de plántulas normales para el primer conteo de germinación (Figura 5), mientras que concentraciones mayores redujeron los valores del conteo. El conteo de germinación más alto con una concentración de sal de 8 mM fue con una dosis de cenizas de cáscara de arroz carbonizada de 1150 kg ha⁻¹, mientras que las dosis mayores redujeron el número de plántulas normales, pero en todos los casos, mayores al tratamiento testigo. Al comparar las tres concentraciones de sal, parecería que la concentración de NaCl más alta requiere dosis mayores de cenizas de cáscara de arroz carbonizada para alcanzar el punto de máxima eficiencia.

El incremento en la aplicación de cenizas de cáscara de arroz carbonizada produjo longitudes de tallos mayores (Figura 5B). Para la concentración de NaCl de 0 mM, se obtuvo el punto de eficiencia máxima con una dosis de 1333 kg ha⁻¹ cenizas de cáscara de arroz carbonizada, lo cual aumentó 0.053 m la longitud de plántula. Para la concentración de NaCl de 4 mM se registraron aumentos en longitudes de tallo hasta la dosis de 1250 kg ha⁻¹ de cenizas de cáscara de arroz carbonizada, lo que es un aumento de 0.063 m. El aumento en la longitud de tallo para la concentración de NaCl de 8 mM fue 0.083 m con 1667 kg ha⁻¹ de cenizas de cáscara de arroz carbonizada. Las plántulas con una mayor tasa de crecimiento temprano

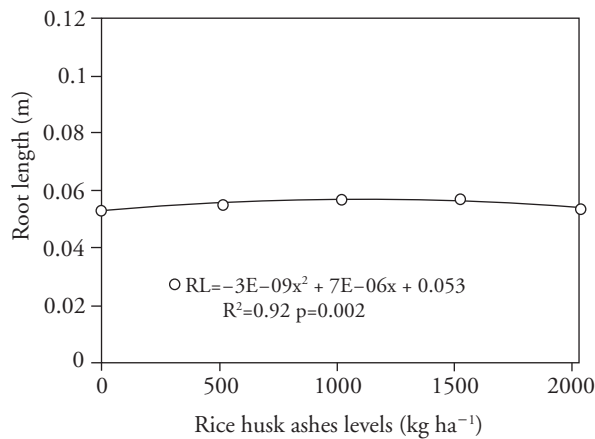
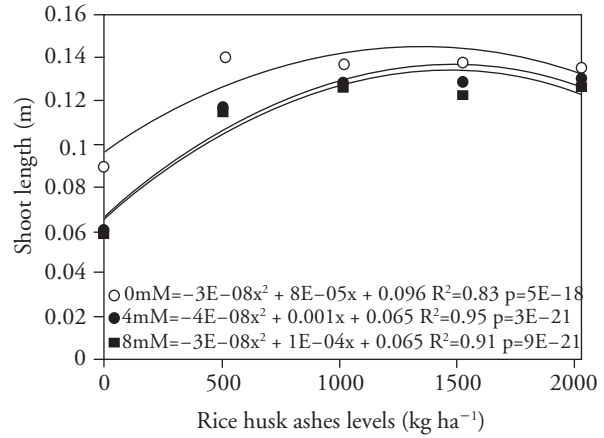
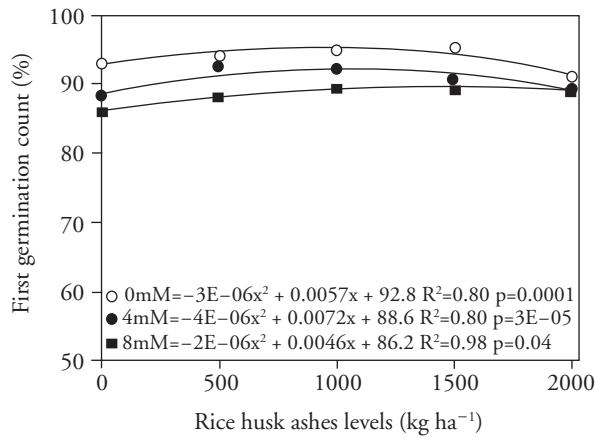


Figure 5. First germination count (A), shoot length (B) and root length (C) of seedlings grown from seeds of rice cultivar IRGA 424, resulting from the application of different levels of carbonized rice husk ashes and NaCl concentrations applied to the soil. Pelotas, Brazil, 2013.

Figura 5. Conteo de primera germinación (A), longitud de tallo (B) y longitud de raíz (C) de plántulas plantadas de semillas del cultivar de arroz IRGA 424, resultante de la aplicación de diferentes niveles de cenizas de cáscara de arroz carbonizada y concentraciones de NaCl aplicadas al suelo. Pelotas, Brasil, 2013.

carbonized rice husk ashes, with an overall mean of 0.057 m.

Carbonized rice husk ashes can increase plant salt tolerance, enhancing their capacity for water absorption (Romero *et al.*, 2006). Other benefits include enhancement of leaf blade structure and photosynthetic potential (Shu and Liu, 2001), enhancement of the antioxidant system (Zhu *et al.*, 2004) and increasing the concentration of soluble substances in the xylem, which will reduce plant sodium absorption (Liang *et al.*, 1996; Matichenkov *et al.*, 2001).

CONCLUSION

Soil salinity affects negatively agronomic traits and physiological quality of rice seeds.

tienen el potencial de generar plantas con un mayor rendimiento, ya que una mayor superficie foliar dará una tasa fotosintética mayor. Según Gustafson *et al.* (2004), las plantas con una alta velocidad de emergencia y crecimiento temprano tienen prioridad en el uso de recursos ambientales, por lo que tienen una ventaja competitiva en su uso.

La longitud de raíz presentó un aumento ligero con dosis crecientes de NaCl (Figura 5C) en hasta 1167 kg ha⁻¹ de cenizas de cáscara de arroz carbonizada, con un promedio general de 0.057 m.

Las cenizas de cáscara de arroz carbonizada pueden aumentar la tolerancia de la planta a la sal, incrementando su capacidad de absorción de agua (Romero *et al.*, 2006). Otros beneficios incluyen la mejora en la estructura foliar y el potencial fotosintético (Shu y Liu, 2001), mejora del sistema antioxidante

The physiological quality and weight of rice seeds is positively affected by increasing doses of rice husk ashes, even in the presence of salt concentrations in the soil.

LITERATURE CITED

- Asch, F., M. Dingkuhn, K. Dörffling, and K. Miezán. 2000. Leaf K/Na ratio predicts salinity induced yield loss in irrigated rice. *Euphytica* 113: 109-118.
- Brasil. 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS. 395 p.
- Carvalho, N. M., and J. Nakagawa. 2000. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4ed. Jaboticabal, Funep 588 p.
- Chungsangunsit, T., S. G. Gheewala, and S. Patumsawad. 2004. Environmental Profile of Power Generation from Rice Husk in Thailand. Disponível em: <<http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/3/Ts-3%20environmental%20profile%20of%20power%20generation%20from%20rice%20husk%20in%20thailand>>. (Acess: April 2013).
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo – CQFS RS/SC. 2004. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 400 p.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. 2013. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2012/2013 - Décimo Levantamento - Junho/2013 - Brasília: Conab.
- Correia, K. G., P. D. Fernandes, H. R. Gheyi, R. G. Nobre, and T. S. Santos. 2009. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob condições de salinidade. *Rev. Ciê. Agr.* 40: 514-521.
- Deuner, C., S. M. Maia, S. Deuner, A. S. Almeida, and G. E. Meneghello. 2011. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. *Rev. Bras. Sem.* 33: 711-720.
- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicium in plant biology. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 91: 11-17.
- Foletto, E. L., R. Hoffmann, R. S. Hoffmann, U. L. Portugal Jr., and S. L. Jahn. 2005. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. *Quí. Nova* 28: 1055-1060.
- Gomes, A. S., E. A. Pauletto, and A. F. H. Franz. 2004. Uso e manejo da água em arroz irrigado. In: Gomes, A. S., and A. M. Magalhães Júnior (eds). *Arroz Irrigado no Sul do Brasil*. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Clima Temperado. pp: 417-455.
- Gunes, A., D. J. Pilbeam, A. Inal, and S. Coban. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, in growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 39: 1885-1903.
- Gustafson, D. J., D. J. Gibson, and D. L. Nickrent. 2004. Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. *Fun. Eco.* 18: 451-457.
- Juliatti, F. C., M. G. Pedrosa, R. M. Lanna, S. H. Brito, and B. Melo. 2004. Influência do silício na redução de podridão de

(Zhu *et al.*, 2004) y el aumento en la concentración de sustancias solubles en el xilema, que reduce la absorción de sodio de la planta (Liang *et al.*, 1996; Matichenkov *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

La salinidad del suelo afecta negativamente las características agronómicas y la calidad fisiológica de las semillas de arroz.

La calidad fisiológica y el peso de las semillas de arroz son afectados positivamente por cantidades crecientes de cenizas de cáscara de arroz, incluso en la presencia de concentraciones de sal en el suelo.

—Fin de la versión en Español—



- sementes por *Fusarium semitectum* na cultura da soja. *Bio. J.* 20: 57-63.
- Khatun, S., and T. J. Flowers. 1995. The estimation of pollen viability in rice. *J. Exp. Bot.* 46: 151-154.
- Korndörfer, G. H., S. H. Pereira, and M. S. Camargo. 2002. Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura. 2.ed. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU. 24 p.
- Liang, Y. C., Q. R. Shen, and T. S. Ma. 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *J. Plant Nut.* 19: 173-183.
- Lima, M. G. S., N. F. Lopes, D. M. Moraes, and C. M. Abreu. 2005. Qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas a estresse salino. *Rev. Bra. Sem.* 27: 54-61.
- Maas, E. V., Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance - current assessment. *J. Irrig. Drainag. Divis.* 103: 115-134.
- Machado, M. O., and A. L. Terres. 1995. Tolerância de genótipos à salinidade do solo - safra 1994/1995. Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 21, Porto Alegre, RS. Anais. Porto Alegre: IRGA. pp: 48-50.
- Marcos Filho, J. 2005. *Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas*. Piracicaba: FEALQ. 495 p.
- Matichenkov, V. V., E. A. Bocharnikova, and J. M. Ammosova. 2001. The influence of silicone fertilizers on the plants and soils. *Agrokhimiya* 12: 30-37.
- Matichenkov, V. V.; A. A. Kosobrukhov, N. I. Shabnova, and E. A. Bocharnikova. 2005. Plant response to silicon fertilizers under salt stress. *Agrokhimiya* 10: 59-63.
- Menezes-Benavente, L., F. K. Teixeira, C. L. A. Kamei, and M. Margispinheiro. 2004. Salt stress induces altered expression of genes encoding antioxidant enzymes in seedlings of a brazilian indica rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Sci.* 166: 323-331.
- Nunes, J. C. 2005. Tratamento de semente - qualidade e fatores que podem afetar a sua performance em laboratório. Syngenta Proteção de Cultivos Ltda. 16 p.

- Oliveira, S., Lemes, E. S., Meneghello, G. E., Tavares, L.C., Barros, A. C. S. A. 2015. Aplicação de silício via solo no rendimento e na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Semina: Ciên. Agr.* 36: 3029-3042.
- Pereira, H. S., G. H. Kondörfer, A. A. Vidal, and M. S. Camargo. 2004. Fontes de silício para a cultura do arroz. *Sci. Agr., Piracicaba* 16: 522-528.
- Pershin, B. M., A. N. Pershima, and L. M. Egorina. 1995. Silicon and rice production in the Primorskii region. *Agrikhimiya* 10: 68-74.
- Pouey, M. T. F. 2006. Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 320 p.
- Rafi, M. M., E. Epstein, and R. H. Falk. 1997. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Plant Phy.* 151: 497-501.
- Rhoades, J. D., A. Kandiah, and A. M. Mashali. 2000. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB 117 p.
- Romero-Aranda, M. R., O. Jurado, and J. Cuartero. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effects on tomato plant growth by improving plant water status. *J. Plant Phy.* 163: 847-855.
- Santos, F. C., J. A. Oliveira, E. V. R. Von Pinho, R. M. Guimarães, and A. R. Vieira. 2010. Tratamento químico, revestimento e armazenamento de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Rev. Bras. Sem.* 32: 69-78.
- Savant, N. K., G. H. Snyder, and L. E. Datnoff. 1997. Silicon management and sustainable rice production. *Adv. Agr.* 58: 151-199.
- Shu, L. Z., and Y. H. Liu. 2001. Effects of silicon on growth of maize seedlings under salt stress. *J. Agr-Env. Sci.* 20: 38-40.
- Silva, S. M. S., A. N. Alves, H. R. Gheyi, N. E. M. Beltrão, L. S. Severino, and F. A. L. Soares. 2008. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. *Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.* 12: 335-342.
- Singh, A. K., R. Singh, and K. Singh. 2005. Growth, yield and economics of rice (*Oryza sativa*) as influenced by level and time of silicon application. *Ind. J. Agr.* 50: 190-193.
- Streck, E. V., N. Kämpf, R. S. D. Dalmolin, E. Klamt, P. C. Nascimento, P. Schneider, E. Giasson, and L. F. S. Pinto. 2008. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RSASCAR. 222 p.
- Sultana, N., T. Ikeda, and R. Itoh. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Env. Exp. Bot.* 42: 211-220.
- Tahir, M. A., Rahmatullah, T. Aziz, M. Ashraf, S. Kanwal, and M. A. Maqsoos. 2006. Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Pak. J. Bot.* 5: 1715-1722.
- Tester, M., and R. Davenport. 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503-527.
- Toledo, M. Z., R. A. Garcia, A. Merlina, and D. M. Fernandes. 2011. Seed germination and seedling development of white oat affected by silicon and phosphorus fertilization. *Sci. Agr.* 68: 18-23.
- Vieira, R. D., and N. M. Carvalho. 1994. Testes de Vigor em Sementes. Jaboticabal: FUNEP. 164 p.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. Los Baños, IRRI. 269 p.
- Zhu, Z. J., G. Q. Wei, J. Li, Q. Q. Qian, and J. Q. Yu. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Sci.* 167: 527-533.