

FÁBIO STEINER | ORG.

PLANT ABIOTIC STRESS TOLERANCE



Pantanal Editora

2020

Fábio Steiner
(Organizador)

PLANT ABIOTIC STRESS TOLERANCE



Pantanal Editora

2020

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2020 Os Autores
Copyright da Edição© 2020 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora
Edição de Arte: A editora e Canva.com
Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Msc. Adriana Flávia Neu – Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Msc. João Camilo Sevilla – Mun. Rio de Janeiro
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Prof. Dr. Leandris ArgenteL-Martínez – Tec-NM (México)
- Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI
- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI

- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG
- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Esp. Camila Alves Pereira
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P713	Plant Abiotic Stress Tolerance [recurso eletrônico] / Organizador Fábio Steiner. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 149p. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-88319-02-4 DOI https://doi.org/10.46420/9786588319024 1. Ecologia e Recursos Naturais (Ecofisiologia vegetal). 2. Meio ambiente – Conservação. 3. Sustentabilidade. I. Steiner, Fábio. CDD 581.5
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es). O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Plant Abiotic Stress Tolerance”, uma publicação da Pantanal Editora, apresenta, em seus 9 capítulos, uma ampla gama de assuntos sobre os recentes avanços e conhecimentos científicos nas áreas de ecofisiologia da produção vegetal e conservação dos recursos naturais e meio ambiente. Os temas abordados mostram algumas das ferramentas atuais que permitem o incremento da produção de alimentos, a melhoria da qualidade de vida da população, e a preservação e a sustentabilidade dos recursos disponíveis no planeta. A obra, vem a materializar o anseio da Editora Pantanal na divulgação de resultados e conhecimentos, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano.

Nas últimas décadas, a produção de alimentos tem sido frequentemente limitada por inúmeros fatores de estresse abióticos, dentre os quais, podemos citar a baixa disponibilidade de água (deficiência hídrica), temperaturas extremas (frio, geadas, calor e fogo), salinidade, deficiência de nutrientes minerais e toxicidade. Esses fatores são responsáveis por consideráveis perdas econômicas tanto para os pequenos agricultores quanto para os produtores de commodities como a cultura da soja, entre outras. Além disso, estes danos podem ser potencialmente agravados pelos efeitos das recentes mudanças climáticas globais, sendo, portanto, a sua mitigação um grande desafio para a comunidade científica. O foco principal das pesquisas abordadas neste e-book é compreender os mecanismos de defesa/tolerância dos estresses abióticos em plantas e apresentar tecnologias e práticas de manejo que possibilitem o aumento da tolerância das plantas a esses estresses abióticos.

Temas associados à identificação de cultivares de soja tolerantes à seca e o manejo da salinidade e da restrição hídrica nas culturas de soja, amendoim e pepino são abordados. A tolerância de plantas de pinhão-manso a toxicidade do alumínio (Al³⁺), a tolerância de quatro espécies hortícolas ao estresse térmico causado por altas temperaturas e a tolerância de mutantes de trigo ao estresse salino também é sugerido. Na área de recursos naturais é mostrado os efeitos fitotóxicos dos metais pesados nas plantas cultivadas e o estresse ambiental causado pelo fogo na região do Cerrado. Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas áreas de ecofisiologia da produção vegetal e conservação dos recursos naturais e meio ambiente, os agradecimentos do Organizador e da Pantanal Editora.

Por fim, esperamos que este e-book possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Fábio Steiner

PRESENTATION

The eBook “Plant Abiotic Stress Tolerance”, a publication by Pantanal Editora, presents in its 9 chapters a wide range of questions about recent advances and scientific knowledge in the areas of ecophysiology of plant production and conservation of natural resources and the environment. The topics presented show some of the current tools that allow the increase in food production, the improvement of quality of life in people's and the preservation and sustainability of the resources available on the planet. This eBook materializes Editora Pantanal's desire to disseminate results and knowledge, which directly contribute to the development of society.

In the last decades, food production has often been limited by numerous abiotic stress factors, among which, we can mention the low availability of water (water deficit), extreme temperatures (cold, frosts, heat and fire), salinity, mineral nutrient deficiency and toxicity. These factors are responsible for considerable economic losses, both for small farmers and for producers of commodities such as soybean, among others. In addition, these damages can potentially be aggravated by the effects of recent global climate changes, and therefore, mitigating these damages is a major challenge for the scientific community. The main objective of the research presented in this e-book is to understand the defense or tolerance mechanisms of abiotic stresses in plants and to present technologies and management practices that enable greater tolerance of plants to these abiotic stresses.

Topics associated with the identification of drought-tolerant soybean cultivars and the management of salinity and water restriction in soybean, peanut and cucumber crops are presented. The tolerance of physic nut plants to aluminum toxicity (Al^{3+}), the tolerance of four vegetable species to heat stress caused by high temperatures and the tolerance of wheat mutants to salt stress is also suggested. In the area of natural resources, the phytotoxic effects of heavy metals on plant growth and the environmental stress caused by fire in the Cerrado region are shown. Therefore, this knowledge can add much to its readers who seek to promote quantitative and qualitative improvements in food production and, or improve the quality of life in society. Always in search of the planet's sustainability.

To the authors of the chapters, for their dedication and efforts, that made this eBook possible, which exposes the recent scientific and technological advances in the areas of ecophysiology of plant production and conservation of natural resources and the environment, thanks to the Organizer and Pantanal Editora.

Finally, we hope that this e-book can collaborate and instigate more students and researchers in the constant search for new technologies. Thus, ensuring an easy and quick dissemination of knowledge to society.

Fábio Steiner

PRESENTACIÓN

El trabajo “Plant Abiotic Stress Tolerance”, publicación de Pantanal Editora, presenta, en sus 9 capítulos, una amplia gama de temas sobre avances recientes y conocimientos científicos en las áreas de ecofisiología de la producción vegetal y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente. Los temas tratados muestran algunas de las herramientas actuales que permiten el aumento de la producción de alimentos, la mejora de la calidad de vida de la población y la preservación y sostenibilidad de los recursos disponibles en el planeta. El trabajo materializa el afán de Editora Pantanal por difundir resultados y conocimientos, que contribuyan directamente al desarrollo humano.

En las últimas décadas, la producción de alimentos se ha visto a menudo limitada por numerosos factores de estrés abiótico, entre los que podemos mencionar la baja disponibilidad de agua (deficiencia de agua), temperaturas extremas (frío, heladas, calor y fuego), salinidad, deficiencia, nutrientes minerales y toxicidad. Estos factores son responsables de considerables pérdidas económicas tanto para los pequeños agricultores como para los productores de commodities como la soja, entre otros. Además, estos daños pueden verse potencialmente agravados por los efectos de los cambios climáticos globales recientes y, por lo tanto, mitigarlos es un desafío importante para la comunidad científica. El foco principal de las investigaciones cubiertas en este libro electrónico es comprender los mecanismos de defensa / tolerancia contra el estrés abiótico en las plantas y presentar tecnologías y prácticas de manejo que permitan aumentar la tolerancia de las plantas a estos estreses abióticos.

Se abordan temas relacionados con la identificación de cultivares de soja tolerantes a la sequía y el manejo de la salinidad y la restricción hídrica en cultivos de soja, maní y pepino. También se sugiere la tolerancia de las plantas de frutos secos a la toxicidad del aluminio (Al^{3+}), la tolerancia de cuatro especies hortícolas al estrés por calor causado por las altas temperaturas y la tolerancia de los mutantes del trigo al estrés por sal. El área de recursos naturales muestra los efectos fitotóxicos de los metales pesados en las plantas cultivadas y el estrés ambiental causado por los incendios en la región del Cerrado. Por tanto, este conocimiento aportará mucho a sus lectores que buscan promover mejoras cuantitativas y cualitativas en la producción de alimentos y, o mejorar la calidad de vida en la sociedad siempre en busca de la sostenibilidad del planeta.

A los autores de los distintos capítulos, por su dedicación y esfuerzo irrestricto, que hizo posible este trabajo, que retrata los recientes avances científicos y tecnológicos en las áreas de ecofisiología de la producción vegetal y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, gracias a la Organización y a Pantanal Editora.

Finalmente, esperamos que este libro electrónico pueda colaborar e instigar a más estudiantes e investigadores en la búsqueda constante de nuevas tecnologías. De esta forma, se garantiza una fácil y rápida difusión del conocimiento a la sociedad.

Fábio Steiner


SUMÁRIO

Apresentação	5
Presentation	6
Presentación	7
Capítulo I	8
Selection indices to identify drought-tolerant soybean cultivars	8
Capítulo II	27
Identificação de cultivares de soja para tolerância à salinidade	27
Capítulo III	41
Co-inoculation of peanut with <i>Bradyrhizobium</i> and <i>Azospirillum</i> promotes greater tolerance to drought	41
Capítulo IV	55
Tolerancia de hortalizas al estrés térmico causado por las altas temperaturas	55
Capítulo V	69
Aluminum toxicity inhibits growth and nutrient uptake in physic nut plants	69
Capítulo VI	81
Potassium nitrate priming to induce salt stress tolerance in cucumber seeds	81
Capítulo VII	97
Respostas Ecofisiológicas de Plantas ao Lodo de Esgoto	97
Capítulo VIII	120
Efeito do fogo em plantas nativas do Cerrado: estresse ambiental <i>versus</i> resiliência	120
Capítulo IX	140
Modelo de desarrollo y tolerancia a la salinidad de mutantes de trigo cultivadas en condiciones Salinas	140
Índice Remissivo	149

Modelo de desarrollo y tolerancia a la salinidad de mutantes de trigo cultivadas en condiciones Salinas

Recebido em: 30/07/2020

Aceito em: 03/08/2020

 10.46420/9786588319024cap9

Leandris ArgenteL-Martínez^{1*} 

Gladys A. Velázquez-Lugo¹

Lizandra Romero-Antomarchi²

María Hermelinda Herrera Andrade¹

José Aurelio Leyva Ponce¹

Jorge González Aguilera³ 

Hebert Hernán Soto González⁴ 

INTRODUCCIÓN

La salinidad de los suelos es, en la actualidad, uno de los factores de mayor impacto negativo sobre el desarrollo y productividad de plantas de interés económico (Sadak, 2019). Una considerable superficie de suelo destinado a la agricultura (43%) se encuentra afectada por niveles de salinidad que en la mayoría de los casos superan la tolerancia de los cultivos (Liu et al., 2019).

En Cuba, la superficie de suelo afectada por la salinidad ha incrementado a más de un millón de hectáreas, donde 1.5 millones ya presentan problemas potenciales de salinización. Este problema se presenta aún más en las provincias orientales, donde el 55% de los suelos cultivables son catalogados como salinizados (ArgenteL et al., 2016a). Esta situación demanda la necesidad de conocer la respuesta de los cultivos agrícolas bajo este tipo de estrés de forma precisa y consistente a lo largo de su ciclo biológico (ArgenteL et al., 2016b), lo cual conducirá a la generación de alternativas enfocadas a incrementar o mantener la productividad en estos cultivos bajo las condiciones de salinidad de los suelos actuales y futuras, contribuyendo a la seguridad alimentaria nacional.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. Calle 600, Block 611, Bácum, San Ignacio Río Muerto, Sonora, México. C. P. 85275.

² Ministerio de la Agricultura, Laboratorio Provincial de Suelos, Bayamo, Granma, Cuba.

³ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) - Campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil

⁴ Universidad Nacional de Moquegua (UNAM) – Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental (EPIAM), Ilo Moquegua, Perú. C.P. 18601.

* Autor de correspondencia: oleinismora@gmail.com

Se ha estudiado que diversas especies vegetales presentan susceptibilidad a la salinidad en diferentes estadios del desarrollo (Azcón-Bieto; Talón, 2008), siendo algunos de contribución altamente significativa para la tolerancia y al rendimiento (Ashraf et al., 2018).

Cultivos como el trigo (*Triticum estivum* L.), que constituyen la base de la alimentación mundial han sido estudiados en cuanto a su tolerancia a la salinidad en ecosistemas frágiles y degradados en Cuba (Argente; González, 2008), donde se han desarrollado experimentos sobre la respuesta de este cereal a condiciones de estrés salino, observando la existencia de considerable variabilidad interespecífica en su grado de tolerancia. Por ello, el monitoreo de la respuesta fisiológica y agronómica, por su carácter poligénico permitirá la validación de variedades que presenten tolerancia estable a este tipo de estrés. Estos estudios permitirán la identificación de posibles parentales para futuros programas de mejora genética (Gholizadeh et al., 2018).

Como parte de las alternativas empleadas en Cuba para mitigar los efectos del estrés abiótico en el cultivo del trigo se ha empleado la radioinducción de mutaciones y fueron obtenidos siete radiomutantes a partir del primer cultivar de trigo harinero cubano C-C-204 (Cueto, 1996). Así, en el presente manuscrito se muestran resultados de los estudios de la tolerancia parcial y final del cultivo de trigo, a través de indicadores morfológicos y agronómicos usando como modelo experimental tres variedades obtenidas en Cuba, y establecidas en la región oriental donde los problemas de salinidad de los suelos son más fuertes y limitantes del desarrollo y productividad de las plantas, siendo la investigación un aporte práctico importante con la finalidad de potenciar la rentabilidad de las producciones en los suelos salinos, incrementar la biodiversidad de especies en ecosistemas frágiles y degradados y una contribución a la seguridad alimentaria nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en un área experimental del Laboratorio provincial de Suelos, ubicada en el municipio de Jiguaní, Granma, Cuba. Fueron empleadas tres variedades de trigo obtenidas en Cuba (Tabla 1), de las cuales se tomaron semillas al azar y fueron sembradas en recipientes de cemento con capacidad de 1m² en condiciones semicontroladas en un diseño experimental completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones. Los experimentos fueron repetidos cuatro veces y realizados en dos años consecutivos (2016-17 y 2017-18).

Tabla 1. Variedades de trigo estudiadas, procedencia, especie y ciclo biológico. Fuente: Datos de la investigación.

Variedad	Procedencia	Especie	Ciclo biológico (días)
C-C-204	Cuba	<i>T. aestivum</i>	90
INIFAT RM -30	Cuba	<i>T. aestivum</i>	90
INIFAT RM -26	Cuba	<i>T. aestivum</i>	90

La variedad C-C-204 fue obtenida por selección a partir de la variedad brasileña de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) BH-1146 (Cueto, 1996); de la cual años más tarde y a través de la inducción de mutaciones se han obtenido 7 mutantes, dentro de ellos INIFAT RM-30 y INIFAT RM-26 (González et al., 2005).

Condiciones experimentales

Los tratamientos estudiados fueron establecidos en suelo vertisol crómico (Hernández, 1999). Se evaluaron dos tratamientos, uno salino con una conductividad eléctrica inicial de 4.96 dS m⁻¹ y uno control con una conductividad eléctrica inicial de 0.14 dS m⁻¹. La conductividad eléctrica de los suelos fue evaluada por el método de pasta saturada (Richards, 1969). Antes de la siembra se aplicó un riego hasta la capacidad de campo controlando la humedad del suelo por el método gravimétrico. El agua de riego presentó una conductividad eléctrica de 0.12 dS m⁻¹. Las siembras se realizaron a chorrillos, logrando una distancia entre hileras de 0.25 metros y una norma de siembra de 90 kg ha⁻¹ (Plana et al., 2016).

VARIABLES EVALUADAS

El porcentaje de germinación se evaluó en cada tratamiento en función del total de semillas establecidas y se expresó en valor relativo al control mediante la fórmula propuesta por Fernández (1993). La respuesta fenológica se estudió utilizando una escala decimal de comparación (Zadoks et al., 1974), evaluando el tiempo transcurrido para cada fase fenológica expresado en días, considerando la fenofase cuando más del 50% de las plantas dentro de un mismo tratamiento mostraban las características afines. Las variables fenológicas fueron: días al inicio del ahijamiento, días a la aparición del primer nudo, días a la aparición del segundo nudo, días al cambio de primordio, días al espigamiento, días a la floración, días al llenado de los granos y días a la madurez fisiológica.

La respuesta agronómica se evaluó en base a 1 m² de parcela experimental en función de las siguientes variables: altura de las plantas (AP) (cm), longitud de la espiga (LE) (cm), masa de la espiga (PE) (g), granos llenos por Espiga (GLLE) (unidad), granos vanos por espiga (GVE) (unidad), peso de 1000 granos (PMG) (g), y rendimiento (t ha⁻¹). A partir de los datos obtenidos de cada variable evaluada

en los dos tratamientos establecidos, para cada variedad se calcularon los índices de tolerancia al estrés por salinidad (ITS), siguiendo la fórmula propuesta por Fernández (1993). A partir de las variables obtenidas fueron calculados los siguientes índices: IG: índice de germinación; IAP: índice de altura de la planta; ILR: índice de longitud de la raíz; IMS: Índice de materia seca; IA: índice de ahijamiento; IAPN: índice de emisión del primer nudo; IASN: índice de emisión del segundo hijo; IAP: índice de altura de la planta durante el embuche; ICP: índice de cambio de primordio; IE: índice de espigamiento; IF: índice de floración; ILLF: índice de llenado de los granos; IMF: índice de maduración de los granos; ILLP: índice de longitud de la espiga; IGLLP- IGCP: índice de granos llenos y vanos por espiga respectivamente; IPP: índice de peso de la espiga; IPMG: índice de peso de mil granos; IR: índice de rendimiento agrícola.

Análisis estadísticos

Utilizando un tamaño de muestra de 30 plantas por recipiente, se determinó la media, su desviación estándar y el error estándar de estimación, estableciendo las diferencias entre el tratamiento control y el estresado para cada variedad mediante la prueba de *t* de *Student* (Gosset, 1917). Además, se realizó un análisis de varianza de clasificación simple entre las variedades, basado en un modelo lineal de efectos fijos, empleando la prueba de comparación múltiple de medias de MDS, para un nivel de significación del 1% (Fischer, 1935). Para todos los índices obtenidos se estableció una curva de respuesta mediante un modelo bifásico de tolerancia durante todo el ciclo biológico (Munns, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación de las semillas

Los porcentajes de germinación de las semillas en el suelo control (SNS) no mostraron diferencias significativas entre las tres variedades estudiadas, presentando altos valores como consecuencia de la tasa normal de germinación de éstas. Sin embargo, las semillas que fueron germinadas en el suelo bajo estrés salino (SS) presentaron valores altos, existiendo diferencias significativas ($p < 0,01$) (Tabla 2).

El análisis del coeficiente de determinación permitió concluir que las variaciones encontradas, tanto en el suelo salino como en el no salino fue función de las variedades evaluadas, aunque en todos los casos los valores de porcentajes de germinación fueron altos. Al comparar de manera independiente cada variedad se observó que el mayor valor promedio lo presentó la variedad radiomutante INIFAT RM-26 (Tabla 2).

La germinación de las semillas es un evento fisiológico que ocurre tras el proceso de absorción de agua, conduciendo mayormente a procesos físico-químicos, pero una vez saturada la semilla si la

conductividad eléctrica del agua es muy alta se evidencian efectos nutricionales y la subsiguiente toxicidad iónica (Leidis; Prado, 2008). Así, la actividad enzimática durante la germinación es muy alta, y los iones de sodio y cloro fundamentalmente disminuyen la actividad de múltiples enzimas fundamentales en la germinación (Aflaki et al., 2017).

Tabla 2. Medias de los valores de germinación (%) de las tres variedades estudiadas en condiciones de suelo salino (SS), no salino (SNS) y el índice de tolerancia relativa (ITR).

Variedad	SS	SNS	ITR
INIFAT RM-26	99.97±0.21 a	100.00 a ^{ns}	99.17
INIFAT RM -30	98.78±0.11 b	100.00 a ^{**}	98.46
C-C- 204	98.83±0.07 b	99.98±0.05 a ^{**}	97.83
CV	0.24	0.03	2.54
R ²	0.99	0.99	0.96

Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren significativamente por la prueba de MDS para el 1%. Medias seguidas por *, ** y ^{NS} en una misma fila muestran diferencias por t-student al 5%, 1% y no significativo, respectivamente. CV: coeficiente de variación, R²: coeficiente de determinación sin ajustar. Fuente: Datos de la investigación.

Modelación de las fenofases de las variedades

En la Figura 1 se muestra las respuestas al modelo bifásico de desarrollo y tolerancia de las variedades estudiadas según descrito por Munns (1996). En las tres variedades estudiadas se observó respuesta tolerante a la salinidad desde la germinación hasta la aparición del segundo nudo (fenofase de encañe), donde se evaluó nuevamente la altura de las plantas, evidenciándose que hasta esta fenofase no existió efecto adverso de la salinidad (Figura 1).

A partir del cambio de primordio (final del encañe e inicio del embuche y espigamiento) se observó un punto de inflexión de la curva de respuesta a la salinidad, mostrándose susceptibilidad en dos variedades (INIFAT RM- 30 y C-C-204), hasta la fenofase de llenado de la espiga. En esta fase se produjo el segundo punto de inflexión en el modelo bifásico, existiendo otra fase de susceptibilidad hasta el final del ciclo biológico de estas dos variedades. El índice de la masa de la panícula, que no presentó diferencias entre las variedades, fue el indicador que propició un segundo momento cuadrático en el modelo de desarrollo, sin embargo, la no existencia de diferencias y la obtención de un alto índice es indicativo de la existencia de considerable estabilidad genética para la tolerancia a la salinidad. Solamente la variedad INIFAT RM-26 mantuvo su respuesta tolerante en las etapas vegetativa y reproductiva, sin afectaciones significativas en el rendimiento agrícola.

Las variables del rendimiento longitud y masa de la espiga se afectaron entre 2 y 4.3 % y 1 y 21 %, respectivamente. Tal resultado evidencia que el tamaño de la espiga no fue afectado por la salinidad en ninguna de las variedades estudiadas, aspecto que se contrapone con el carácter poligénico de esta

variable (Renault et. al., 2012) no siendo así su masa, que es función directa de la cantidad de carbohidratos que llegan a cada grano, propiciando variabilidad en la masa de la espiga como se observa en el Tabla 3 (Bilkis et al., 2016).

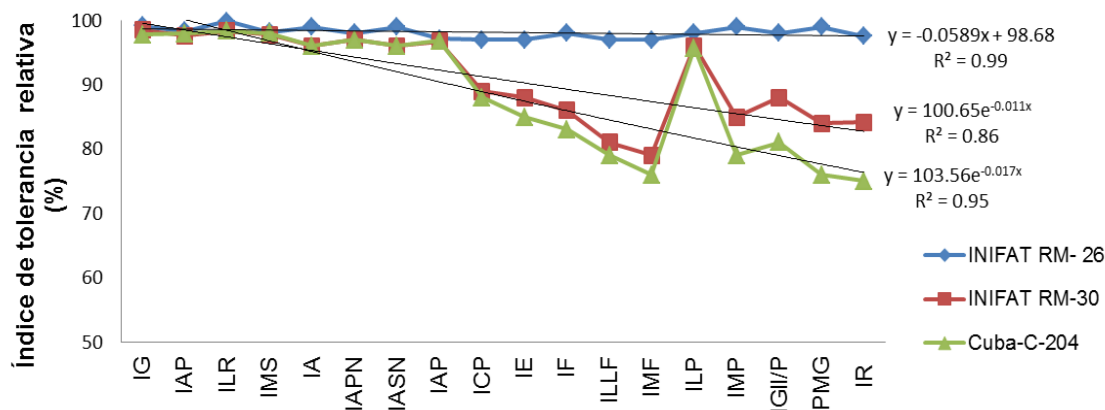


Figura 1. Modelo bifásico de crecimiento de Munns (1996). Índices de tolerancia en cada fenofase de tres variedades de trigo. Ecuaciones y líneas de tendencia seguidas por el conjunto de índices evaluados. R²: bondad de ajuste de los datos a la línea de tendencia. Las siglas dos diferentes índices fueron descritos en material y métodos. Fuente: Datos de la investigación.

Tabla 3. Índices de afectación en los componentes del rendimiento.

Variedad	Componentes del rendimiento (%)				
	ILP ¹	IMP	IGLLP	IPMG	IR
INIFAT RM- 26	2a	1a	2a	1a	2.5a
INIFAT RM-30	4b	15b	12b	16b	15.83b
C-C-204	4.3b	17c	21c	18c	25c
CV	5.17	8.41	11.32	12.34	12.52
R ²	0.96	0.98	0.99	0.98	0.98

¹ ILP: índice de longitud de la espiga, IMP: índice de masa de la panícula, IGLLP: índice de granos llenos por espiga, IPMG: índice de peso de mil granos, IR: índice de rendimiento agrícola. Medias con letras diferentes en la columna difieren significativamente por MDS para un 1%. CV: Coeficiente de variación. R²: coeficiente de determinación sin ajustar. Fuente: Datos de la investigación

Esta disminución significativa en la masa de la espiga pudo ser efecto tanto por un incremento del porcentaje de polen no viable como por el resultado de diferentes desajustes que se producen en el desarrollo floral o por obstrucción del floema en las espiguillas distales (Shirdelmoghanloo et al., 2016).

El número de granos llenos por espiga tuvo gran incidencia en el rendimiento obtenido. Se ha señalado que los mayores efectos del estrés salino en el rendimiento en grano en trigo usualmente están asociados a una reducción en el número de granos efectivos (Kumar et al., 2018). Por su parte la masa de los granos también varió significativamente con afectaciones de 16% y 18% en las variedades

INIFAT RM-30 y C-C-204. En todas las variables evaluadas el coeficiente de determinación (R^2), superior al 95% permitió verificar que las variaciones encontradas fueron atribuidas únicamente al efecto de las variedades, demostrando la existencia de variabilidad genética para el carácter tolerancia a la salinidad basada en los componentes del rendimiento.

Las afectaciones en el rendimiento, en el presente estudio, oscilaron entre 2% y 25% como resultado de los daños ocurridos en sus componentes, resultando la variedad de trigo harinero INIFAT RM-26 la de mejor respuesta a la salinidad, mientras que INIFAT RM-29 y C-C-204 fueron las de mayor grado de susceptibilidad. El resultado obtenido demuestra que por efecto de la técnica biotecnológica de radioinducción de mutaciones es posible mejorar la respuesta adaptativa y productiva de especies de interés económico (Hombler et al., 2012).

El mayor grado de tolerancia por parte de los radiomutantes obtenidos a partir de C-C-204 responde probablemente a la técnica empleada para su obtención dado que se conoce que la inducción de mutaciones ha sido una vía importante para elevar el grado de tolerancia en diversas especies de interés económico (El-Mouhamady y Ibrahim, 2020; Bado et al., 2016).

CONCLUSIONES

Los radiomutantes de trigo evaluados presentaron mayores índices de tolerancia relativa a la salinidad durante la germinación.

El modelo bifásico permitió concluir que las variedades no presentaron afectaciones durante los primeros estadios del desarrollo hasta la fenofase de encañe (alargamiento del segundo nudo), y que por efecto de la radioinducción, los radiomutantes fueron más tolerantes que el progenitor.

La radioinducción disminuyó las afectaciones por efectos del estrés salino, denotando la utilidad práctica que pudiera tener la técnica para programas de mejoramiento asistido para tolerancia al estrés por salinidad en regiones donde la mejora genética por cruzamiento no es práctica debido a los costos y al tiempo de realización.

BIBLIOGRAFÍA

- Aflaki F, Sedghi M, Pazuki A, Pessarakli M (2017). Investigation of seed germination indices for early selection of salinity tolerant genotypes: A case study in wheat. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 222-226.
- Argente L, González LM (2008). Efecto de la salinidad sobre la fenología y los componentes del rendimiento y su relación con la tolerancia a la salinidad en trigo (*Triticum aestivum* Y *T. durum*). *Cultivos Tropicales*, 29(3): 53-57.

- Argentel-Martínez L, Garatuza-Payán J, Yépez-González EA, de los Santos S (2016a). Evaluación de la tolerancia de variedades mexicanas de trigo a la salinidad, a través de indicadores fisiológicos, bioquímicos y agronómicos, cultivadas en Cuba en condiciones de campo. *Cultivos Tropicales*, 37(1): 91-101.
- Argentel L, Payán JG, González EY, Aguilera JG (2016b). Inclusión y acumulación de Na⁺ en diferentes órganos de la variedad de trigo Cuba-C-204 como respuesta al estrés salino. *Revista Brasileira De Agropecuária Sustentável*, 6(2): 33-42.
- Ashraf M, Shahzad SM, Imtiaz M, Rizwan MS (2018). Salinity effects on nitrogen metabolism in plants—focusing on the activities of nitrogen metabolizing enzymes: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 41(8): 1065-1081.
- Azcón-Bieto J, Talón M. (2008). Fundamentos de fisiología Vegetal. *Publicaciones y ediciones de la Universitat de Bracelona*. España.
- Bado S, Forster BP, Ghanim A, Jankowicz-Cieslak J, Berthold G, Luxiang L (2016). *Protocols for pre-field screening of mutants for salt tolerance in rice, wheat and barley*. Springer Nature.
- Bilkis A, Islam MR, Hafiz MHR, Hasan MA (2016). Effect of NaCl induced salinity on some physiological and agronomic traits of wheat. *Pak. J. Bot*, 48(2): 455-460.
- Cueto C (1996). Apuntes sobre el cultivo del trigo en Cuba. La Habana: INIFAT. 15p.
- El-Mouhamady ABA, Ibrahim HF (2020). Elicitation of salt stress-tolerant mutants in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) by using gamma radiation. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1): 1-18.
- FAO (2016). Partial report on the agriculture. Cereals production along the world. Needs and expectatives. Plant production and protection paper. *World soils resours reports. No.12/1 II*. Rome.
- Fernández GCJ (1993). Effective selection criteria for assessing plant tolerance. Proc: On Adaptation of Food Crops to temperature and Water Stress (Kuo, c. G. Ed.) Taiwan, 13-18 Agust 1992. *Asian Vegetable Research and Development Center*, Publ., No. 93-410: 257-270.
- Fisher RA (1935). *The design of experiments*. Londres. Oliver & Boyd.
- Gholizadeh A, Dehghani H, Amini A, Akbarpour O (2018). Investigation of the Genetic Diversity of Iranian Bread Wheat Germplasm for Tolerance to Saline Stress. *Journal of Crop Breeding*, 10(26): 173-184.
- González LM, Argentel L, Estrada A, Saldivar N, Ramírez R (2005). Evaluación de la tolerancia a la sequía en genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) obtenidos en Cuba por inducción de mutaciones. *Cultivos Tropicales*, 26(3): 65-69.
- Gosset E (1917). An other differences calculus based on standar desviation and confidence interval. *Statistical References*. 26: 66-72.

- Hernández A (1999). Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: Instituto de Suelos MINAGRI, AGRINFOR. 42p.
- Homble F, Krammer EM, Prevost M (2012). Plant VDAC: Facts and speculations. *Biochim. Biophys. Acta Biomembr*, 1818 (6): 1486–1501.
- Kumar DB, Kakralya BL, Bagdi DL, Sharma MK, Pinki D, Budaniya S (2018). Investigate the effect of salt stress on yield and yield attributes of wheat. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4): 2094-2096.
- Leidis O, Prado JM (2008). Salinity effects on cultivated pants. What, new?. *Indian Journal of Plant Physiology*, 23: 215-224.
- Liu Y, Zhang F, Wang C, Wu S, Liu J, Xu A, ... , Pan X (2019). Estimating the soil salinity over partially vegetated surfaces from multispectral remote sensing image using non-negative matrix factorization. *Geoderma*, 354: 113887.
- Munns R (1996). Biphasic model for salinity tolerance. *Australian Journal of plant fisiology*, 12: 124-129
- Plana-Llerena RR, González-Cañizares PJ, Soto-Carreño F, Dell'Amico-González JM, Ramírez-Pedroso JF, Moreno-Moreno I, ... , Ochoa M (2016). INCA TH-4. Nuevo cultivar cubano de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). *Cultivos Tropicales*, 37(4): 126-126.
- Renault H, El Amrani A, Berger A, Mouille G, Soubigou-Taconnat L, Ouchereau A, Deleu C (2012). γ -Aminobutyric acid transaminase deficiency impairs central carbon metabolism and leads to cell wall defects during salt stress in Arabidopsis roots. *Plant, Cell Environ.*, 36(5): 1009–1018.
- Richards LA (1969). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. United States Salinity Laboratory Staff, Department for Agriculture. Washington, USA. 159p.
- Sadak MS (2019). Physiological role of trehalose on enhancing salinity tolerance of wheat plant. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1): 53.
- Shirdelmoghanloo H, Cozzolino D, Lohraseb I, Collins NC (2016). Truncation of grain filling in wheat (*Triticum aestivum*) triggered by brief heat stress during early grain filling: association with senescence responses and reductions in stem reserves. *Functional Plant Biology*, 43(10): 919-930.
- Zadoks JC, Chang T^T, Konzak CF (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6): 415-421.

ÍNDICE REMISSIVO

- A**
- adaptação, 122, 124
ajuste, 99, 100, 144
aluminum tolerance, 77
análise multivariada, 35, 38
- B**
- biossólido, 95, 101, 102, 109, 110, 111
- C**
- Cucumis sativus* L., 80, 81, 85, 88, 90, 91
- E**
- estresse salino, 5, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34,
35, 36, 37, 38
estresse vegetal, 100
- G**
- Glycine max*, 7, 11, 24, 25, 26, 28, 33, 35, 52
- I**
- índice de tolerância de estresse, 31, 32, 34
- J**
- Jatropha curcas* L., 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77,
78
- O**
- osmotic stress, 86
- R**
- resíduos sólidos, 96, 113
root growth, 40, 41, 45, 68, 69, 72, 74, 76
- S**
- salinity*, 38, 39, 51, 80, 81, 83, 84, 86, 87, 89, 91,
92, 93, 94, 115, 145, 146, 147
seed germination, 39, 41, 52, 81, 83, 84, 86, 87,
92, 113, 136, 145
seed priming, 38, 93
solos salinos, 26, 38
substrato, 66, 97, 101, 103, 105, 109, 110, 111,
116, 117, 137
sucessão, 126
- T**
- tolerância ao fogo, 119
- V**
- vermicompostagem, 102, 109, 113

Fábio Steiner



Doutor em Agronomia - Agricultura (UNESP - Botucatu). Mestre em Agronomia (Produção Vegetal) e Graduado em Agronomia (UNIOESTE - Marechal Cândido Rondon). Professor, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul em Cassilândia.

Contato: steiner@uems.br

ISBN 978-658831902-4



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br