

Milho crioulo tratado com bioinsumos e fosfato natural tolera o déficit hídrico

Landrace maize treated with bioinputs and natural phosphate tolerates water deficit

El maíz criollo tratado con bioinsumos y fosfato natural tolera el déficit hídrico

Received: 28/06/2025 | Revised: 02/07/2025 | Accepted: 03/07/2025 | Published: 05/07/2025

Eyko Nathan Silva Sanches

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7444-1878>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: eyko.nathan.04@gmail.com

Bruna Macedo Simões Sérgio

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3405-1853>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: bruna.macedo2009@hotmail.com

Giulia Gentilini

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3143-896X>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: giuliadgentilini@gmail.com

Yugo Lima-Melo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6082-7267>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: yugo.melo@uffs.edu.br

Alfredo Castamann

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9478-3549>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: alfredo.castamann@uffs.edu.br

Sandra Maria Maziero

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4811-3445>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: sandra.maziero@uffs.edu.br

Denise Cargnelutti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7307-1024>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: denise.cargnelutti@uffs.edu.br

Resumo

Este estudo objetivou avaliar se o fosfato natural reativo (FNR), combinado com microrganismos promotores do crescimento de plantas (MPCP), promovem o crescimento de plantas de milho crioulo (*Zea mayz* L.) cultivadas sob condição de déficit hídrico (DH). Os experimentos foram realizados em casa de vegetação e seguiram delineamento inteiramente casualizado, com combinações de DH, FNR e microrganismos (*Azospirillum*, *Az*; *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*, *BsBm*; microrganismos eficientes, ME). Determinou-se altura da parte aérea (PA), diâmetro do caule, número de folhas (NFP), concentração e fluorescência da clorofila (Fv/Fm), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência no uso da água (EUA), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs) e taxa de fotossíntese líquida (A). Um incremento na altura da PA foi observado sob DH e para a média (com e sem DH) dos tratamentos com FNR associado com *Az* ou *BsBm* ou ME. Sob DH, a Ci foliar foi reduzida por 22% e 12%, respectivamente para o controle e *Az*. Por outro lado, a Ci aumentou 1,4 vezes com ME, *BsBm*, FNR+*Az* e FNR+*BsBm*, sob DH. Os maiores índices de EUA foram observados nos tratamentos FNR+*BsBm* e FNR+ME (8% e 12%, respectivamente). O DH elevou a EUA nos tratamentos controle e *Az*. Sob DH, A/Ci aumentou até 34% nos tratamentos controle e *Az*, enquanto *BsBm* e FNR+*Az* causaram redução de 30%. Portanto, os bioinsumos favoreceram o crescimento do milho com ou sem DH. A redução de 50% na disponibilidade hídrica não afetou os parâmetros fisiológicos, indicando tolerância ao estresse no genótipo crioulo avaliado.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; Restrição Hídrica; Microrganismos Eficientes; Agrobiodiversidade.

Abstract

This study aimed to evaluate whether reactive natural phosphate (RNP), combined with plant growth-promoting microorganisms (PGPM), promotes the growth of *creole maize* (*Zea mays* L.) plants cultivated under water deficit (WD) conditions. The experiments were conducted in a greenhouse and followed a completely randomized design, with combinations of WD, RNP, and microorganisms (*Azospirillum* – *Az*; *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* – *BsBm*; and efficient microorganisms – EM). The following variables were determined: shoot height (SH), stem diameter, number of leaves (NL), chlorophyll content and fluorescence (Fv/Fm), internal CO₂ concentration (Ci),

water use efficiency (WUE), transpiration rate (E), stomatal conductance (gs), and net photosynthetic rate (A). An increase in SH was observed under WD and in the average (with and without WD) of treatments with RNP combined with *Az*, *BsBm*, or EM. Under WD, leaf Ci decreased by 22% and 12% in the control and *Az* treatments, respectively. Conversely, Ci increased 1.4 times with EM, *BsBm*, RNP+*Az*, and RNP+*BsBm* under WD. The highest WUE values were found in the RNP+*BsBm* and RNP+EM treatments (8% and 12%, respectively). WD increased WUE in the control and *Az* treatments. Under WD, A/Ci increased up to 34% in the control and *Az* treatments, while *BsBm* and RNP+*Az* led to a 30% reduction. Therefore, bioinputs promoted maize growth under both water availability conditions. A 50% reduction in water supply did not alter physiological parameters, indicating stress tolerance in the evaluated landrace genotype.

Keywords: *Zea mays* L.; Water Restriction; Efficient Microorganisms; Agrobiodiversity.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo evaluar si el fosfato natural reactivo (FNR), combinado con microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV), favorece el crecimiento de plantas de maíz criollo (*Zea mays* L.) cultivadas bajo condiciones de déficit hídrico. Los experimentos se llevaron a cabo en un invernadero y siguieron un diseño completamente al azar, con combinaciones de DH, FNR y microorganismos (*Azospirillum* – *Az*; *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* – *BsBm*; y microorganismos eficientes – ME). Se determinaron altura de la parte aérea (PA), diámetro del tallo, número de hojas (NF), contenido y fluorescencia de clorofila (Fv/Fm), concentración interna de CO₂ (Ci), eficiencia en el uso del agua (EUA), tasa de transpiración (E), conductancia estomática (gs) y tasa fotosintética neta (A). Se observó un aumento en la PA bajo DH y en el promedio (con y sin DH) de los tratamientos con FNR combinado con *Az*, *BsBm* o ME. Bajo DH, la Ci foliar se redujo en un 22% y 12% en los tratamientos control y *Az*, respectivamente. Por otro lado, la Ci aumentó 1,4 veces con ME, *BsBm*, FNR+*Az* y FNR+*BsBm* bajo DH. Los mayores valores de EUA se observaron en los tratamientos FNR+*BsBm* y FNR+ME (8% y 12%, respectivamente). El DH elevó la EUA en los tratamientos control y *Az*. Bajo DH, A/Ci aumentó hasta un 34% en los tratamientos control y *Az*, mientras que *BsBm* y FNR+*Az* provocaron una reducción del 30%. Por lo tanto, los bioinsumos favorecieron el crecimiento del maíz tanto en condiciones de disponibilidad hídrica como de restricción. La reducción del 50% en el suministro de agua no alteró los parámetros fisiológicos, lo que indica tolerancia al estrés en el genotípico criollo evaluado.

Palabras clave: *Zea mays* L.; Restricción Hídrica; Microorganismos Eficientes; Agrobiodiversidad.

1. Introdução

As condições ambientais afetam significativamente o desenvolvimento das plantas, pois estas estão sujeitas a diversos estresses abióticos e bióticos. Dentre estes, o déficit hídrico é um limitador do desenvolvimento vegetal, pois a água é fundamental para funções metabólicas e manutenção da turgidez celular adequada. Assim, o aumento da temperatura, aliado à irregularidade de precipitação pode provocar o déficit hídrico nos vegetais, afetando o desenvolvimento de frutos e sementes (Zandalinas et al., 2018).

Nas últimas décadas, estudos têm evidenciado uma tendência de aumento da temperatura global, resultando na expansão de regiões áridas e semiáridas. Esse fenômeno está associado a uma maior frequência e intensidade de eventos de déficit hídrico, além do aumento da salinização dos solos, afetando diretamente a produtividade agrícola e a segurança alimentar global (Li et al., 2024). Conforme um relatório da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) (*Global status of salt-affected soils*, 2024), cerca de 1,4 bilhão de hectares de terras já estão afetados pela salinidade excessiva, com mais 1 bilhão em risco, o que pode reduzir os rendimentos das culturas em até 70%. Eventos climáticos como El Niño e La Niña tendem a se intensificar e provocar ainda mais períodos de estiagem e aumentar a intensidade de chuvas nas regiões afetadas. Na região Sul do Brasil, observou-se um aumento nas temperaturas médias, contribuindo para a ampliação das áreas sujeitas a déficit hídrico. Esse fenômeno tem sido associado às mudanças climáticas, que afetam diretamente a disponibilidade hídrica e a produção agrícola na região. Pesquisas indicam que a elevação da temperatura média global até o fim do século tende a intensificar tanto a evapotranspiração das plantações quanto a evaporação da água do solo, o que, por sua vez, aumentará a necessidade de irrigação. Essa elevação na demanda hídrica está diretamente relacionada ao aumento das temperaturas médias na região (Cardoso, 2020).

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de elevada importância estratégica no Brasil e no cenário global, destacando-se

por seu papel fundamental na segurança alimentar, na nutrição humana e como principal insumo na alimentação animal (Araújo et al., 2023). Trata-se de uma das principais fontes de renda dos agricultores familiares, de acordo com o boletim de safra brasileira do ano de 2023 (Conab, 2023). O milho é muito sensível ao estresse causado pela falta de água, com consequências tanto para os processos bioquímicos e fisiológicos que resultam em drásticas reduções de crescimento e produtividade (Ferreira et al., 2024). Além da água, nutrientes minerais, como o fósforo (P), são essenciais para o crescimento e desenvolvimento de plantas. Embora os teores totais de P nos solos agrícolas variem de 200 a 3.000 mg Kg⁻¹ de solo (Falcão & Silva, 2004), a concentração de P inorgânico na solução do solo varia de 0,1 a 10 µmol L⁻¹. Assim, menos de 0,1% do P total presente nos solos está disponível na solução para absorção pelas raízes das plantas. Deste modo, as plantas absorvem este nutriente de soluções com concentrações extremamente baixas (Mimura & Reid, 2024). A superdosagem de adubos fosfatados, aplicando-os em volumes bem maiores que a necessidade das plantas, é uma prática recorrente nos sistemas de cultivo convencionais (JOHNSTON 2014). Estas fontes são geralmente importadas e possuem alto custo. Desta forma, o fosfato natural constitui uma fonte alternativa de fósforo que pode ser utilizada na agricultura orgânica e agroecológica.

Dentre as alternativas para o cultivo de plantas sob condições de estresse está o uso de amenizadores, tais como os microrganismos. Agunbiade et al. (2024) relataram que as atividades microbianas de rizobactérias representaram um efeito positivo no desenvolvimento das plantas sob condições de déficit hídrico. Os gêneros de microrganismos *Bacillus* e *Azospirillum* já são vendidos como inoculantes para a agricultura, com utilização para culturas tais como milho, feijão, cana-de-açúcar (Brasileira et al., [s.d.]) atuando como bioinsumos considerados de alta eficiência. A ativação de enzimas e a síntese de proteínas podem ser otimizadas graças à utilização desses microrganismos (Buragohain et al., 2024). Assim, a busca por microrganismos novos e eficientes, oriundos de ambientes inexplorados, é uma alternativa interessante para utilização em associação com plantas com o objetivo de amenizar os efeitos negativos impostos pelo estresse hídrico (Chieb & Gachomo, 2023).

Deste modo, o uso de microrganismos e a aplicação de fontes naturais de fósforo podem ser benéficas para as plantas expostas a situações de déficit hídrico por atuarem na síntese de hormônios vegetais e enzimas relacionados com a promoção do crescimento de plantas e resiliência a estresses (Rezende et al., 2021). Além disso, o uso de fontes alternativas de fosfato, tal como o fosfato natural, possui relevância tendo em vista que fertilizantes fosfatados apresentam custos altos para os produtores. Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar se o fosfato natural reativo (FNR), combinado com microrganismos promotores do crescimento de plantas (MPCP), promovem o crescimento de plantas de milho crioulo (*Zea mayz* L.) cultivadas sob condição de déficit hídrico.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa experimental, laboratorial e de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018; Gil, 2017) na qual se fez uso de estatística descritiva simples com uso de classes de dados, valores médios (Shitsuka, 2014; Akmine & Yamamoto, 2009) e de análise estatística (Bekman & Costa Neto, 2009). Os ensaios foram desenvolvidos no Laboratório de Microscopia, Laboratório de Entomologia e Bioquímica e na casa de vegetação da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Erechim. Foram utilizadas sementes de milho de variedade crioula obtidas junto ao Centro de Apoio e Promoção da Agroecologia: CAPA – Erechim, RS (Número de registro no SISGEN: A5A4971). As sementes foram colocadas em vasos contendo 8 L de substrato (solo + composto orgânico + areia, na proporção 1:1:1), sendo semeadas três sementes por vaso. Aos quinze dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, mantendo-se uma única plântula vigorosa por vaso. O experimento foi conduzido em vasos utilizando o delineamento inteiramente casualizado, com 5 repetições por tratamento (Tabela 1).

Tabela 1 - Bioinsumos e níveis de déficit hídrico (HD) impostos a cultura do milho crioulo (*Zea mays* L).

Tratamentos	100% CP (sem DH)	50% CP (com DH)
Controle	Controle	Controle
<i>Az</i>	<i>Azospirillum</i>	<i>Azospirillum</i>
EM	EM 1:500	EM 1:500
<i>BsBm</i>	BiomaPhos	BiomaPhos
FNR+ <i>Az</i>	Fosfato+ <i>Azospirillum</i>	Fosfato+ <i>Azospirillum</i>
FNR+ <i>BsBm</i>	Fosfato+BiomaPhos	Fosfato+BiomaPhos
FNR+EM	Fosfato+EM 1:500	Fosfato+EM 1:500

Fonte: Autoria própria.

Para a imposição ao déficit hídrico foi utilizada a metodologia descrita em (Santiago et al., 2022). A capacidade de pote (CP 100%) foi determinada admitindo-se o peso do solo saturado com água. Para o tratamento com déficit hídrico foi utilizada 50% CP. A reposição da água evaporada no período foi realizada com uso de regador manual, mantendo-se os vasos próximos à CP para o tratamento controle (100% CP) e omitindo-se a irrigação em 50% para o tratamento sob déficit hídrico (50% CP). As plantas foram submetidas ao déficit hídrico 16 dias após a semeadura (DAS) as quais permaneceram nesta condição até o estádio V6.

Os Microrganismos Eficientes (ME) utilizados nesta pesquisa foram obtidos e capturados de acordo com as normas do Ministério da Agricultura da Pecuária e Abastecimento, por meio das Fichas Agroecológicas (RDTL - MAP, 2011; Santiago et al., 2022) na área experimental da UFFS, Campus Erechim (Número de registro no SISGEN: A5A4971). Os microrganismos, *Azospirillum* (Bioma mais®, Cepas ABV5/ABV6; UFC 2,5 X 10⁸) e *Bacillus megaterium* e *B. subtilis* (BiomaPhos®, Cepa BRM 2084; UFC 4 X 10⁹) e/ou os MPCP, na forma de solução diluída (1:500) foram adquiridos comercialmente, aplicados em tratamento de sementes e borrifados 4 mL por vaso na planta e no solo. As sementes foram inoculadas separadamente com soluções dos microrganismos na diluição 1:500. As sementes permaneceram 30 minutos nesta solução e em seguida foram retiradas e deixadas para secar em temperatura ambiente por 24 horas.

As aplicações dos microrganismos foram semanais, realizadas sempre no período da tarde e se estenderam até o 35º DAS. No tratamento controle foi borrifada apenas água. O fosfato natural reativo na dose de 30 g/m² (6 g de P₂O₅/m²) foi incorporado ao substrato no momento da preparação do mesmo para o cultivo das plantas. A dose de fosfato natural foi calculada com base na análise química de solo.

Os parâmetros de crescimento foram obtidos aos 35 DAS, para as seguintes variáveis: altura das plantas, diâmetro do caule e número de folhas por planta (NFP). A altura das plantas foi determinada utilizando-se uma fita métrica graduada. O diâmetro do caule foi obtido utilizando-se um paquímetro digital, com a mensuração realizada a uma altura de 10 cm a partir do colo da planta. Além disso, foram contabilizados o NFP, descartando-se as folhas danificadas.

O teor de clorofila foi mensurado com o uso do clorofilômetro portátil (ClorofiLOG), medindo-se a variável de dois pontos em cada planta. A eficiência quântica máxima da atividade fotoquímica do FSII (Fv/Fm) foi determinada utilizando-se o fluorômetro (modelo OS5p+, Opti-Sciences) a partir do terço médio da primeira folha completamente expandida. A avaliação das trocas gasosas das folhas foi realizada com um Analisador de Gases por Infravermelho (IRGA), marca ADC Bioscientific, modelo LCpro-T (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK), do qual foram obtidos os seguintes parâmetros: taxa de fotossíntese líquida (A), concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (G_s), eficiência do uso de água (EUA) e eficiência de carboxilação (A/Ci), também partir do terço médio da primeira folha completamente expandida. As medições foram realizadas entre as oito e onze horas da manhã.

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste *F*) considerando as fontes de variação déficit, bioinsumo e a interação déficit x bioinsumo. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de *Tukey* a 5% de probabilidade de erro. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software genes e as análises de correlações foram obtidas por meio do software GraphPad Prism 10.

3. Resultados e Discussão

Dentre os parâmetros de crescimento analisados, foram observadas interações significativas apenas para a altura da parte aérea (PA) (Tabela 2). Os valores médios de altura da PA de *Zea mays* com ou sem déficit hídrico (DH) foram 1,2 vezes maiores nos tratamentos FNR+*Az*, FNR+*BsBm* e FNR+ME quando comparado com a média do tratamento controle. Tais dados estão em consonância com estudos recentes que destacam os benefícios da associação de fertilizantes naturais com microrganismos promotores de crescimento vegetal (MPCP) no cultivo de milho sob déficit hídrico (Azeem et al., 2022). Além disso, o valor médio (de todos os tratamentos) de altura da PA em planta submetidas ao DH foi 1,1 vezes maior comparado com aquele de plantas não submetidas ao DH. Tais dados sugerem que o genótipo de milho crioulo utilizado no estudo pode apresentar tolerância ao DH. Conforme estudos realizados por Santos et al. (2021), a altura de planta é uma das características mais importantes para discriminar genótipos quanto à tolerância à seca, aliado a característica de elevada produtividade de grãos em condições de DH (Sousa et al., 2018).

Fósforo e nitrogênio são elementos essenciais para a produção de nucleotídeos, usados, por exemplo, para a síntese de DNA e ATP, moléculas cruciais para o metabolismo vegetal. O nitrogênio também é importante constituinte das proteínas e, portanto, enzimas que atuam no metabolismo. A combinação de fosfato natural reativo com os microrganismos incrementou significativamente a altura das plantas (Tabela 2). *Azospirillum* realiza a fixação biológica de nitrogênio, além de atuar na solubilização de fosfato e na síntese de auxinas, auxiliando o vegetal a tolerar estresses abióticos (Jehani et al., 2023). Resultado semelhante foi observado por Souza et al. (2023), no qual *Azospirillum* promoveu um incremento na altura do milho cultivado sob déficit hídrico, superando a altura da planta em condições ideais de irrigação. Portanto, a aplicação do *FNR* associado à capacidade destes microrganismos em solubilizar os nutrientes minerais pode ter aumentado a absorção dos nutrientes pelas plantas submetidas ao tratamento com DH, proporcionando um incremento na altura da PA destas.

O diâmetro do caule e o número de folhas não foram alterados pelos tratamentos, no presente estudo. Em ensaios realizados com *Azospirillum brasiliense* e diferentes doses de nitrogênio, tanto em condições irrigadas quanto com supressão hídrica, não foi observada interação significativa entre inoculação e regime de água para variáveis morfo-agronômicas como diâmetro do colmo e número de folhas (Xavier et al., 2025). De modo semelhante, Gavilanes et al. (2023) relataram que a inoculação com cepas de *A. brasiliense* não afetou significativamente os caracteres biométricos do milho, como a espessura do caule e contagem foliar, nem houve interação relevante entre a inoculação e diferentes doses de nitrogênio.

Tabela 2 - Efeito de interação entre as médias da variável Fv/Fm, eficiência quântica do PSII de folhas de *Zea mays* tratado com bioinssumos (Az, *Azospirillum*; ME, microrganismos eficientes; *BsBm*, *Bacillus subtilis* mais *Bacillus megaterium*; FNR + Az, fosfato natural reativo mais Az; FNR + *BsBm*; FNR + ME) ou não (TC, tratamento controle) e cultivado com (50% CP) ou sem (CP 100%) déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal dentro de cada condição/capacidade de pote e minúscula na vertical dentro de cada condição dos bioinssumos não diferem entre si pelo teste Tukey a 95% de confiança ($p \leq 0.05$). ns Não significativo pelo mesmo teste.

Bioinssumos	Altura da parte aérea			Diâmetro do Caule ^{ns}		NFP ^{ns}		
	(cm)	100%	50%	(cm)	100%	50%	100%	50%
TC	46.73	50.5	48.62	b	7.89	8.08	8.25	8.50
Az ¹	48.37	59.5	53.94	ab	6.96	7.69	7.00	8.50
ME	55.37	55.75	55.56	ab	7.05	7.44	8.75	7.75
<i>BsBm</i>	54.37	55.5	54.94	ab	7.5	8.16	8.25	8.25
FNR + Az	56.87	66.25	61.56	a	7.58	8.56	8.00	8.00
FNR + <i>BsBm</i>	62.75	60.25	61.5	a	7.99	8.65	8.50	8.25
FNR + ME	56.42	71.12	63.78	a	8.18	8.51	8.25	7.75
Média	54.42 B	59.84 A			7.59	8.15	8.14	8.14
CV (%)	11.909				14.42		14.31	

Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Bacillus megaterium e *Bacillus subtilis* são bactérias conhecidas por amenizar alguns estresses abióticos, denominadas rizobactérias, que promovem o crescimento de plantas (Kloepper et al., 2004). A *B. subtilis* promove uma maior exsudação radicular composta por aminoácidos que auxiliam na síntese de metabólicos secundários (Kudoyarova et al., 2014). Deste modo, no presente estudo a associação do FNR + *BsBm* proporcionou uma condição ideal para o crescimento de *Zea mays*. Outrossim, os ME são uma variedade de microrganismos comumente presentes nos solos (Silva et al., 2022), que melhoraram as características físicas e químicas destes e, consequentemente, garantem uma maior produtividade da cultura.

No presente estudo não foram observadas alterações significativas nos teores de clorofila e para a Fv/Fm, tanto nos tratamentos utilizando os bioinssumos com ou sem DH. Tais dados sugerem que a variedade crioula de milho utilizada, pode apresentar tolerância ao DH, pois esta condição não foi suficiente para alterar os parâmetros fotossintéticos.

Tabela 3 - Efeito de interação entre as médias das variáveis clorofila (SPAD) e Fv/Fm - eficiência quântica do PSII de folhas de *Zea mays* tratado com bioinssumos (Az, *Azospirillum*; ME, microrganismos eficientes; *BsBm*, *Bacillus subtilis* mais *Bacillus megaterium*; FNR + Az, fosfato natural reativo mais Az; FNR + *BsBm*; FNR + ME) ou não (TC, tratamento controle) e cultivado com (Capacidade de pote 50%) ou sem (CP 100%) déficit hídrico. ns Não significativo pelo teste Tukey a 95% de confiança ($p \leq 0.05$).

Bioinssumos	Clorofila ^{ns} (SPAD)		Fv/Fm ^{ns}	
	100%	50%	100%	50%
TC	37.54	36.6	0.763	0.791
Az	32.70	39.57	0.744	0.795
ME	39.04	37.02	0.764	0.789
<i>BsBm</i>	36.71	36.36	0.790	0.771
FNR + Az	35.14	35.65	0.780	0.780
FNR + <i>BsBm</i>	34.14	37.46	0.788	0.786
FNR + ME	37.47	37.10	0.773	0.767
Média	36.71	37.02	0.774	0.787
CV (%)	11.39		3.368	

Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Por outro lado, os dados de trocas gasosas foram alterados significativamente pelos tratamentos. Ocorreu uma diminuição de 22% e 12% para a C_i nas folhas de *Z. mays* cultivado sob DH (50% CP) nos tratamentos controle (sem bioinsumo) ou *Az*, respectivamente, quando comparado com o tratamento controle sem DH (100% CP) (Tabela 4). A C_i de folhas de milho cultivadas com DH foi cerca de 1,4 vezes maior nos tratamentos que receberam a aplicação de ME, *BsBm*, FNR + *Az* e FNR + *BsBm*, quando comparado com o tratamento controle (50% CP, sem bioinsumos). Os MPCP podem beneficiar a fixação de carbono pelas plantas (Azevedo et al., 2024) pois podem contribuir para a mineralização e solubilização de nutrientes (Lin et al., 2021), síntese de fitohormônios (Poveda et al., 2021) e, por diferentes mecanismos, promovem a melhoria nutricional das plantas (Barbosa et al., 2022; Oliveira-Paiva et al., 2024). Deste modo, os MPCP utilizados nos tratamentos com DH do presente estudo foram essenciais para manter os níveis de C_i inalterados, quando comparado com os mesmos tratamentos em plantas sem DH.

Os resultados do presente estudo mostraram que os tratamentos responsáveis pelos maiores índices de EUA (8% e 12%, respectivamente) foram FNR + *BsBm* e FNR + ME quando comparados com o tratamento controle (100% CP). O EUA está diretamente relacionado com a biomassa produzida pela fotossíntese com o mínimo de água consumida, assim os benefícios dos microrganismos aliados ao FNR e à disponibilidade ideal de água garantem um elevado índice de EUA (Tabela 4). Além disso, a restrição hídrica (50% CP) incrementou os níveis de EUA no tratamento controle e *Az*, embora com o DH e aplicação dos bioinsumos, a EUA foi reduzida para valores cerca de 1,1 vezes menores quando comparados com o tratamento controle (50% CP, sem bioinsumo). Portanto, os bioinsumos utilizados como tratamentos mostraram melhor desempenho em plantas cultivadas sob condições hídricas ideais ou inoculadas com *Az*, microrganismo conhecido por atuar na regulação osmótica tanto no compartimento apoplástico quanto no simoplástico, favorecendo o equilíbrio hídrico celular e o metabolismo fotossintético (Gureeva & Gureev, 2023).

A razão A/ C_i indica o quanto de CO_2 interno está sendo efetivamente fixado no ciclo de Calvin. Os dados do presente estudo mostraram médias de A/ C_i significativamente maiores em folhas de *Z. mays* sob DH quando comparado com plantas cultivadas sem DH, somente nos tratamentos controle e *Az*, sendo estes 32% e 34% maiores, respectivamente (Tabela 4). Tais dados indicam que, mesmo sob DH, as plantas conseguiram manter ou até melhorar a eficiência da carboxilação (fixação de CO_2 pelo ciclo de Calvin). Os tratamentos *BsBm* ou FNR+*Az* promoveram um decréscimo de aproximadamente 30% na A/ C_i de folhas de *Z. mays* cultivado com DH, quando comparado com o controle (sem bioinsumo). Conforme Santos et al. (2017), uma maior C_i resulta em menor A/ C_i e tal fenômeno também foi observado no presente estudo, pois o tratamento sem DH que apresentou a menor A/ C_i também mostrou a maior C_i , tratamento em que foi aplicado isoladamente o *Az* (Tabela 4). Assim, maior concentração de CO_2 disponível internamente (C_i) não garante maior assimilação (A), caso a maquinaria bioquímica esteja limitada. Isso pode acontecer quando os estômatos estão abertos (alta g_s), mas a Rubisco está limitada ou ocorre acúmulo de CO_2 não utilizado, reduzindo A/ C_i . No entanto, os dados do presente estudo não mostraram alterações estatisticamente significativas para a G_s , a exceção do valor médio entre plantas com ou sem DH para o tratamento com ME, o qual foi 1,4 vezes maior quando comparado com a média do controle (sem bioinsumos).

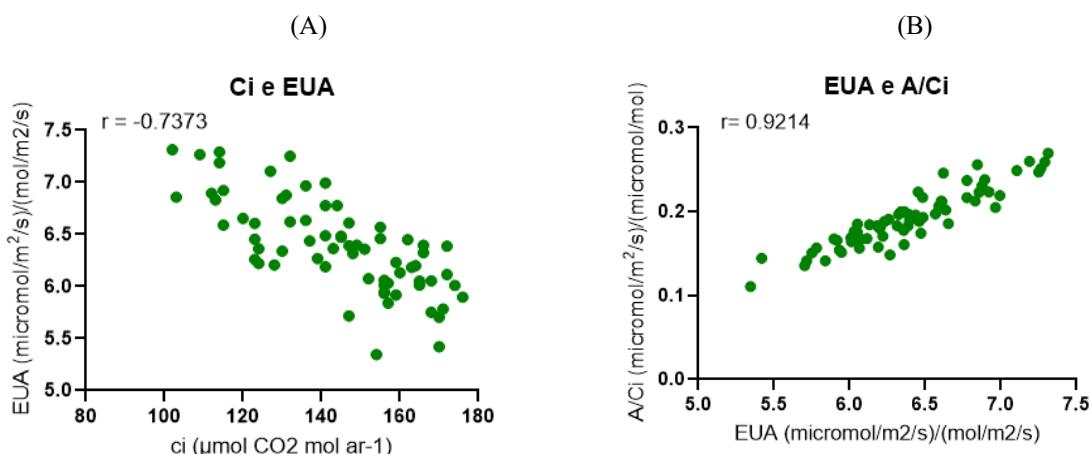
Tabela 4 – Efeito de interação entre as médias das variáveis, Ci - Concentração interna de CO₂, EUA – eficiência no uso da água e proporção, A/Ci eficiência de carboxilação de folhas de *Zea mays* tratado com bioinsumos (Az, Azospirillum; ME, microrganismos eficientes; BsBm, *Bacillus subtilis* mais *Bacillus megaterium*; FNR + Az, fosfato natural reativo mais Az; FNR + BsBm; FNR + ME) ou não (TC, tratamento controle) e cultivado com (Capacidade de pote 50%) ou sem (CP 100%) déficit hídrico. ns Não significativo pelo teste Tukey a 95% de confiança (p≤0.05). Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal dentro de cada condição/capacidade de pote, e minúscula na vertical dentro de cada condição Bioinsumos não diferem entre si pelo teste Tukey a 95% de confiança (p≤0.05)

Bioinsumos	Ci						EUA						A/Ci					
	(μmol CO ₂ mol ar ⁻¹)						(micromol/m ² /s)/(mol/m ² /s)						(micromol/m ² /s)/(micromol/mol)					
	100%		50%		100%		50%		100%		50%		100%		50%			
TC	149.6	ab	A	116.4	d	B	6.09	cd	B	6.98	a	A	0.17	ab	B	0.23	a	A
Az ¹	154.4	a	A	134.6	bcd	B	5.72	d	B	6.80	ab	A	0.15	b	B	0.202	ab	A
ME	144.8	ab	A	156.6	ab	A	6.58	abc	A	6.33	bc	A	0.20	ab	A	0.182	ab	A
BsBm ⁴	149.4	ab	A	163	a	A	6.39	abc	A	6.03	c	B	0.19	ab	A	0.172	b	A
FNR + Az ¹	151.8	ab	A	164.4	a	A	6.19	bcd	A	5.95	c	A	0.18	ab	A	0.166	b	A
FNR + BsBm ⁴	142	ab	A	147.6	abc	A	6.66	ab	A	6.31	bc	A	0.22	a	A	0.198	ab	A
FNR + ME	125.6	b	A	120.2	cd	A	6.93	a	A	6.40	bc	B	0.23	a	A	0.196	ab	A
Média	149.4			147.6			6.40			6.03			0.192			0.196		
CV (%)	10.02						4.39						14.96					

Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Os resultados deste estudo indicaram que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para os parâmetros E, gs e A, tanto sob 100% quanto sob 50% da capacidade de campo. A única exceção observada foi no tratamento com o bioinsumo ME, no qual os valores médios de gs foram 1,35 vezes superiores à média dos tratamentos controle (com e sem déficit hídrico), considerando ambas as condições hídricas (Tabela 5). O déficit hídrico naturalmente provoca o fechamento dos estômatos para evitar a perda de água (Sheoran et al., 2022), contudo, no presente estudo, o tratamento com microrganismos eficientes (ME) promoveu um incremento na condutância estomática (gs), favorecendo uma maior circulação de gases no interior das folhas. Esses resultados contrastam com os dados reportados por Araujo *et al.* (2023) e Marques *et al.* (2020), os quais observaram redução ou manutenção dos níveis de gs sob condições semelhantes de aplicação de bioinsumos.

Figura 1 - Coeficientes de correlação de Pearson significativos para Ci - Concentração interna de CO₂, EUA – eficiência no uso da água e proporção, A/C_i eficiência de carboxilação de folhas de *Zea mays* tratado com bioinsumos (Az, *Azospirillum*; ME, microrganismos eficientes; *BsBm*, *Bacillus subtilis* mais *Bacillus megaterium*; FNR + Az, fosfato natural reativo mais Az; FNR + *BsBm*; FNR + ME) ou não (TC, tratamento controle) e cultivado com (Capacidade de pote 50%) ou sem (CP 100%) déficit hídrico.



Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Além disso, uma correlação negativa (-0,73) foi observada entre Ci e EUA, enquanto uma correlação fortemente positiva (0,92) foi registrada entre EUA e A/C_i (Figura 1). Esses resultados indicam que a eficiência do uso da água (EUA) aumenta à medida que a concentração interna de CO₂ (Ci) diminui, sugerindo limitação estomática como estratégia de conservação hídrica. Ao mesmo tempo, a forte correlação positiva entre EUA e A/C_i evidencia que plantas com maior eficiência carboxilativa também utilizam melhor a água disponível, otimizando a fotossíntese sob condições limitantes.

Tabela 5 - Efeito de interação entre as médias das variáveis, E - taxa de transpiração, Gs - condutância estomática e A - Taxa de fotossíntese líquida de folhas de *Zea mays* tratado com bioinsumos (Az, *Azospirillum*; ME, microrganismos eficientes; *BsBm*, *Bacillus subtilis* mais *Bacillus megaterium*; FNR + Az, fosfato natural reativo mais Az; FNR + *BsBm*; FNR + ME) ou não (TC, tratamento controle) e cultivado na presença (Capacidade de pote 50%) ou não (CP 100%) de restrição hídrica. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical dentro de cada condição bioinsumos não diferem entre si pelo teste Tukey a 95% de confiança ($p \leq 0.05$).

Bioinsumos	E			Gs			A					
	(mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			(mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			(μmol m ⁻² s ⁻¹)					
	100%	50%	\bar{x} (100%:50%)	100%	50%	\bar{x} (100%:50%)	100%	50%	\bar{x} (100%:50%)			
TC	4.164	3.748	3.956	a	0.24	0.206	0.223	b	25.322	26.262	25.792	a
Az ¹	4.016	4.034	4.025	a	0.214	0.244	0.229	ab	23.022	27.432	25.227	a
ME	4.44	4.518	4.479	a	0.292	0.312	0.302	a	29.152	28.592	28.872	a
BsBm ⁴	4.48	4.57	4.525	a	0.282	0.296	0.289	ab	28.602	27.608	28.105	a
FNR + Az ¹	4.402	4.528	4.465	a	0.274	0.286	0.28	ab	27.272	26.934	27.103	a
FNR + BsBm ⁴	4.576	4.508	4.542	a	0.294	0.278	0.286	ab	30.51	28.572	29.541	a
FNR + ME	4.096	3.706	3.901	a	0.25	0.186	0.218	b	28.422	23.694	26.058	a
CV (%)	11.03				21.61				12.22			

Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Com base nos resultados, conclui-se que a aplicação do bioinsumo ME, tanto em condições ideais de irrigação quanto sob déficit hídrico, favoreceu uma boa circulação de gases nas plantas de milho crioulo. Esse comportamento é compatível com a realidade do cultivo, uma vez que, ao longo do ciclo, as plantas frequentemente enfrentam variações na disponibilidade hídrica, e a manutenção da troca gasosa adequada pode contribuir para a estabilidade da produtividade. Além disso, as plantas de milho crioulo demonstraram tolerância ao déficit hídrico, uma vez que os parâmetros fisiológicos avaliados (E, gs e A) não apresentaram variações significativas, mesmo sob condições de 50% da capacidade de pote. Tal estabilidade é indicativa de um mecanismo de adaptação, considerando que esses parâmetros geralmente são reduzidos quando plantas de milho são expostas a níveis limitantes de água (Lobell et al., 2014; Yasin et al., 2024).

4. Conclusão

Os resultados evidenciaram que os bioinsumos foram benéficos, incrementando a altura de *Zea mays* cultivado sob déficit hídrico (DH), embora os demais parâmetros morfológicos não tenham demonstrado alterações significativas. O fosfato natural reativo (FNR) associado aos microrganismos não promoveu incremento significativo no teor de clorofila e eficiência quântica do PSII. Por outro lado, o *Azospirillum* induziu uma maior eficiência de carboxilação em folhas de *Z. mays* submetido ao DH. Portanto, os dados obtidos no presente estudo sugerem que a variedade de milho crioulo utilizada tolerou o DH e a aplicação dos bioinsumos é benéfica tanto sob DH quanto na condição ideal de irrigação.

Agradecimentos

Agradecimentos à Universidade Federal da Fronteira Sul pelas duas bolsas concedidas, vinculadas aos subprojetos registrados no Prisma sob os números PES-2023-0055 e PES-2023-0056.

Referências

- Agunbiade, V. F., Fadiji, A. E., Agbodjato, N. A., & Babalola, O. O. (2024). Isolation and Characterization of Plant-Growth-Promoting, Drought-Tolerant Rhizobacteria for Improved Maize Productivity. *Plants*, 13(10), 1298. <https://doi.org/10.3390/plants13101298>
- Akamine, C. T. & Yamamoto, R. K. (2009). Estudo dirigido: estatística descritiva. (3ed). Editora Érica.
- Araújo, D. R. De, Gomes, F. A., Moreira, J. G. D. V., Mattar, E. P. L., Araújo, E. A. De, Ferreira, J. B., Souza, C. S. De, & Nascimento, L. D. O. (2023). Variabilidade nutricional e física de variedades tradicionais de milho (*Zea mays* L.) cultivados no vale do Juruá, Acre, Brasil. *Ciência Animal Brasileira*, 24. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v24e-74403e>
- Araujo, J. L., de Mesquita Alves, J., Rocha, R. H. C., Santos, J. Z. L., dos Santos Barbosa, R., da Costa, F. M. N., de Lima, G. S., de Freitas, L. N., Lima, A. S., Nogueira, A. E. P., da Silva, A. A. R., dos Santos, L. C., Bezerra Neto, F., & da Silva Sá, F. V. (2023). Beneficial Microorganisms Affect Soil Microbiological Activity and Corn Yield under Deficit Irrigation. *Agriculture*, 13(6), 1169. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061169>
- Azeem, M., Haider, M. Z., Javed, S., Saleem, M. H., & Alatawi, A. (2022). Drought Stress Amelioration in Maize (*Zea mays* L.) by Inoculation of *Bacillus* spp. Strains under Sterile Soil Conditions. *Agriculture*, 12(1), 50. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010050>
- Azevedo, L. C. B., Bertini, S. C. B., Ferreira, A. S., Rodovalho, N. S., Ferreira, L. F. R., & Kumar, A. (2024). Microbial contribution to the carbon flux in the soil: A literature review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 48. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230065>
- Barbosa, B. B., Pimentel, J. P., Rodovalho, N. S., Bertini, S. C. B., Kumar, A., Ferreira, L. F. R., & Azevedo, L. C. B. (2022). Ascomycetous isolates promote soil biological and nutritional attributes in corn and soybeans in sandy and clayey soils. *Rhizosphere*, 24, 100625. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100625>
- Brasileira, E., Agropecuária, P., Oliveira, C. De, Isabel, R., Souza, R. P. De, & Magalhães, P. C. ([s.d.]). *Boletim De Pesquisa E Desenvolvimento 240 Resposta do Milho à Inoculação com Rizobactérias sob Diferentes Níveis de Estresse Hídrico*. www.embrapa.br/fale-conosco/sac
- Buragohain, K., Tamuly, D., Sonowal, S., & Nath, R. (2024). Impact of Drought Stress on Plant Growth and Its Management Using Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Indian Journal of Microbiology*, 64(2), 287–303. <https://doi.org/10.1007/s12088-024-01201-0>
- Cardoso, I. P. (2020). *Impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação de culturas de sequeiro na região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul*. <http://guaiaca.ufpel.edu.br/xmlui/handle/prefix/7525>
- Chieb, M., & Gachomo, E. W. (2023). The role of plant growth promoting rhizobacteria in plant drought stress responses. *BMC Plant Biology*, 23(1), 407. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04403-8>

Falcão, N. P. de S., & Silva, J. R. A. da. (2004). Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 34(3), 337–342. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000300001>

Ferreira, J. C. C., Cruz, J. F. da, Negreiros, T. M. N., Brito, W. B. M., Lima, A. F. L., & Souza, A. E. D. de. (2024). Respostas morfofisiológicas de plantas de milho e jiló ao estresse hídrico induzido. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 17(1), e11639. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n1e11639>

Global status of salt-affected soils. (2024). FAO. <https://doi.org/10.4060/cd3044en>

Gureeva, M. V., & Gureev, A. P. (2023). Molecular Mechanisms Determining the Role of Bacteria from the Genus Azospirillum in Plant Adaptation to Damaging Environmental Factors. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), 9122. <https://doi.org/10.3390/ijms24119122>

Jehani, M. D., Singh, S., T. S., A., Kumar, D., & Kumar, G. (2023). Azospirillum—a free-living nitrogen-fixing bacterium. In *Rhizobiome* (p. 285–308). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16030-1.00001-8>

Kloepper, J. W., Ryu, C.-M., & Zhang, S. (2004). Induced Systemic Resistance and Promotion of Plant Growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*®, 94(11), 1259–1266. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1259>

Kudoyarova, G. R., Melentiev, A. I., Martynenko, E. V., Timergalina, L. N., Arkhipova, T. N., Shendel, G. V., Kuz'mina, L. Y., Dodd, I. C., & Veselov, S. Y. (2014). Cytokinin producing bacteria stimulate amino acid deposition by wheat roots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 83, 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.015>

Li, Q., Ye, A., Wada, Y., Zhang, Y., & Zhou, J. (2024). Climate change leads to an expansion of global drought-sensitive area. *Journal of Hydrology*, 632, 130874. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130874>

Lin, S., Gunupuru, L. R., Ofoe, R., Saleh, R., Asiedu, S. K., Thomas, R. H., & Abbey, Lord. (2021). Mineralization and nutrient release pattern of vermicast-dust mixed media with or without addition of *Trichoderma viride*. *PLOS ONE*, 16(7), e0254188. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254188>

Lobell, D. B., Roberts, M. J., Schlenker, W., Braun, N., Little, B. B., Rejesus, R. M., & Hammer, G. L. (2014). Greater Sensitivity to Drought Accompanies Maize Yield Increase in the U.S. Midwest. *Science*, 344(6183), 516–519. <https://doi.org/10.1126/science.1251423>

Marques, D. M., Magalhães, P. C., Marriel, I. E., Gomes Junior, C. C., Da Silva, A. B., Melo, I. G., & De Souza, T. C. (2020). Azospirillum brasiliense Favors morphophysiological characteristics and nutrient accumulation in maize cultivated under two water regimes. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 19, 17. <https://doi.org/10.18512/rbms2020v19e1152>

Mimura, T., & Reid, R. (2024). Phosphate environment and phosphate uptake studies: past and future. *Journal of Plant Research*, 137(3), 307–314. <https://doi.org/10.1007/s10265-024-01520-9>

Pereira A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [free e-book]. Ed.UAB/NTE/UFSM.

Oliveira-Paiva, C. A., Bini, D., de Sousa, S. M., Ribeiro, V. P., dos Santos, F. C., de Paula Lana, U. G., de Souza, F. F., Gomes, E. A., & Marriel, I. E. (2024). Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1426166>

Poveda, J., Eugui, D., Abril-Urías, P., & Velasco, P. (2021). Endophytic fungi as direct plant growth promoters for sustainable agricultural production. *Symbiosis*, 85(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00789-x>

RDTL - MAP. (2011). *Ministério Da Agricultura E Pescas*.

Rezende, C. C., Silva, M. A., Frasca, L. L. de M., Faria, D. R., Filippi, M. C. C. de, Lanna, A. C., & Nascente, A. S. (2021). Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. *Research, Society and Development*, 10(2), e50810212725. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12725>

Santiago, G. D. M., Cargnelutti, D., & Castamann, A. (2022). Microrganismos eficientes : uma ferramenta alternativa para o manejo da seca em plantas de feijoeiro ? *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 17(1), 1–9. <https://doi.org/10.18378/rvads.v17i1.9171>

Santos, T. T., Casari, R. A. das C. N., Molinari, H. B. C., Kobayashi, A. K., Souza Júnior, M. T., Silva, V. N. B., Ferreira, T. M. M., & Sousa, C. A. F. de. (2021). Discrimination of responses of corn genotypes to drought through physiological, growth, and yield traits. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 56. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2021.v56.01948>

Sheoran, S., Kaur, Y., Kumar, S., Shukla, S., Rakshit, S., & Kumar, R. (2022). Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize (*Zea mays L.*): Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>

Shitsuka et al. (2014). Matemática fundamental para a tecnologia. São Paulo: Ed. Érica.

Silva, A. L. da, Cordeiro, R. S., & Rocha, H. C. R. da. (2022). Aplicabilidade de Microrganismos Eficientes (ME) na Agricultura: uma revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, 11(1), e32311125054. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25054>

Sousa, R. S. de, Bastos, E. A., Cardoso, M. J., & Pereira, D. R. (2018). Identification of drought-tolerant corn genotypes by multivariate analysis1. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48(3), 204–211. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4852122>

Souza, L. C., Monteiro, G. G. T. N., Marinho, R. K. M., Souza, E. F. L., Oliveira, S. C. F., Ferreira, A. C. S., Oliveira Neto, C. F., Okumura, R. S., & Souza, L. C. (2023). Nitrogen metabolism in maize plants submitted to drought, brassinosteroids and azospirillum. *Brazilian Journal of Biology*, 83. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.276264>

Xavier, P. S., Lopes, J. B. de L., Ribeiro, J. C., Oliveira, H. F. E. de, Mirza, C. C. R., Vale, L. S. R., Cordeiro, V. A. S., & Selari, P. J. R. G. (2025). Nitrogen fertilization associated with *Azospirillum brasiliense* inoculation in the maize crop. *Contribuciones A Las Ciencias Sociales*, 18(5), e18319. <https://doi.org/10.55905/revconv.18n.5-442>

Yasin, S., Zavala-García, F., Niño-Medina, G., Rodríguez-Salinas, P. A., Gutiérrez-Diez, A., Sinagawa-García, S. R., & Lugo-Cruz, E. (2024). Morphological and Physiological Response of Maize (*Zea mays* L.) to Drought Stress during Reproductive Stage. *Agronomy*, 14(8), 1718. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081718>

Zambrano Gavilanes, F., Souza Andrade, D., Zucareli, C., Sarkis Yunes, J., Rodrigues Silva, H., Hélder Horácio, E., Maddela, N. R., Sánchez-Urdaneta, A. B., Guimarães, M. de F., & Prasad, R. (2023). Combination effects of microbial inoculation and N fertilization on maize yield: A field study from southern Brazil. *Rhizosphere*, 27, 100768. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100768>

Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia Plantarum*, 162(1), 2–12. <https://doi.org/10.1111/ppl.12540>