

Microorganismos Benéficos y Compost Líquido Enriquecido con Silicio: Alternativas para la Producción Agroecológica del Cultivo de Arroz Beneficial Microorganisms and Liquid Compost Enriched with Silicon: Alternatives for Agroecological Rice Crop Production

Luis Tarquino Llerena-Ramos¹, Sergio Rodríguez-Rodríguez², Juan José Reyes-Pérez¹,
Sandra López-Álvarez², María Jiménez-Pizarro² y Bernardo Espinosa-Palomeque^{3*}

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. km 1.5 vía a Santo Domingo. Quevedo. 120501 Los Ríos, Ecuador; (L.T.L.R.), (J.J.R.P.).

² Universidad de Granma. Carretera Bayamo-Manzanillo km 17.5. 85149 Bayamo, Granma, Cuba; (S.R.R.), (S.L.A.), (M.J.P.).

³ Universidad Tecnológica de Escuinapa. Camino al Gausimal s/n, colonia Centro. 82400 Escuinapa de Hidalgo, Sinaloa, México; (B.E.P.).

* Autor para correspondencia: bespinosa@utescuinapa.edu.mx

RESUMEN

El empleo de microorganismos benéficos y la aplicación de compost líquido enriquecido con silicio constituyen prácticas agroecológicas sostenibles en el cultivo del arroz (*Oryza sativa*). El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de prácticas agroecológicas y empleo del silicio en las variables días a floración y porcentaje de esterilidad de la panícula en el cultivo de arroz INIAP-14 en suelo franco arcilloso, en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador. Los tratamientos evaluados consistieron T1= control sin aplicación; T2= insecticida Buffago® (0.5 L ha⁻¹); T3= *Azotobacter chroococum*, cepa Ag, a 1×10⁹ UFC mL⁻¹; T4= compost líquido enriquecida con silicato de potasio (K₄SiO₄) (10 L ha⁻¹); T5= *Metarhizium anisopliae*, cepa 45 (1.2 L ha⁻¹) y T6= combinación de *A. chroococum* + compost líquido enriquecida con K₄SiO₄ y *M. anisopliae*, en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. El análisis de varianza demostró diferencias significativas tanto para los días a floración y el porcentaje de esterilidad de la panícula. Los resultados mostraron que el tratamiento T6 presentó los menores valores significativos en días a floración (72.8 días) y porcentaje de esterilidad de la panícula (9.0%) de acuerdo a la prueba de Scott y Knott. Se encontró relación no lineal sigmoidal por el modelo de Hill entre los días a floración y el porcentaje de esterilidad de la panícula lo que indica que para ese cultivar y en esas condiciones edafoclimáticas el alargamiento de los días a floración incrementa el porcentaje de esterilidad de la panícula, lo que sugiere que la aplicación de *A. chroococum* + compost líquido enriquecida con K₄SiO₄ y *M. anisopliae* podrían ser efectiva para disminuir el porcentaje de esterilidad de la panícula de arroz por ende incrementar el rendimiento del cultivo desarrollado con bioinsumos aceptados en las prácticas agroecológicas.

Palabras clave: abono orgánico, biofertilizantes, días a floración, esterilidad de panículas.

SUMMARY

The use of beneficial microorganisms and the application of liquid compost enriched with silicon constitute sustainable agroecological practices in rice (*Oryza sativa*) cultivation. The objective of this research was to evaluate the effect of agroecological practices and the use of silicon on the variables days to flowering and percentage of sterility of the panicle in the INIAP-14 rice crop in clay loam soil, at the State Technical University of Quevedo (UTEQ), Ecuador. The treatments evaluated consisted of T1= control without application; T2= Buffago® insecticide (0.5 L ha⁻¹); T3=, strain Ag, at 1×10⁹ CFU mL⁻¹; T4= liquid compost enriched with potassium silicate (K₄SiO₄) (10 L *Azotobacter chroococum* ha⁻¹); T5= *Metarhizium anisopliae*, strain 45



Cita recomendada:

Llerena-Ramos, L. T., Rodríguez-Rodríguez, S., Reyes-Pérez, J. J., López-Álvarez, S., Jiménez-Pizarro, M., & Espinosa-Palomeque, B. (2025). Microorganismos Benéficos y Compost Líquido Enriquecido con Silicio: Alternativas para la Producción Agroecológica del Cultivo de Arroz. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-15. e2108. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2108>

Recibido: 8 de octubre de 2024.

Aceptado: 4 de diciembre de 2024.

Artículo. Volumen 43.

Enero de 2025.

Editor de Sección:

Dr. Francisco H. Ruiz Espinoza

Editor Técnico:

Dr. David Cristóbal Acevedo



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

(1.2 L ha⁻¹) and T6= combination of *A. chroococum* + liquid compost enriched with K₄SiO₄ and *M. anisopliae*, in a completely randomized design with four replications. The analysis of variance showed significant differences for both days to flowering and percent sterility. The results showed that treatment T6 presented the lowest significant values in days to flowering (72.8 days) and percentage of panicle sterility (9.0%) according to the Scott and Knott test. A non-linear sigmoidal relationship was found by Hill's model between days to flowering and the percentage of panicle sterility, which indicates that for this cultivar and in these soil and climatic conditions, the lengthening of days to flowering increases the percentage of panicle sterility, suggesting that the application of *A. chroococum* + liquid compost enriched with K₄SiO₄ and *M. anisopliae* could be effective in decreasing the percentage of sterility of the rice panicle, thus increasing the yield of the crop developed with bioinputs accepted in agroecological practices.

Index words: organic fertilizer, biofertilizers, days to flowering, panicle sterility.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la investigación científica ha enfocado sus esfuerzos en el desarrollo de sustancias naturales y seguras para mejorar el crecimiento, la productividad y la calidad de los cultivos, así como para mitigar los efectos de condiciones ambientales adversas (Leal *et al.*, 2020; Abdelrasheed *et al.*, 2021). El compost, es una enmienda orgánica derivada de la descomposición de residuos vegetales mediante el proceso de compostaje (Sadegh-Zadeh, Tolekolai, Bahmanyar y Emadi, 2018), ha cobrado relevancia recientemente. En zonas semiáridas, su aplicación ayuda a contrarrestar los efectos negativos de la salinidad del suelo y el estrés hídrico (Sadegh-Zadeh *et al.*, 2018; Youssif, Osman, Salama y Zaghloul, 2018). El compost se considera una estrategia agrícola exitosa por mejorar la estructura del suelo (Mahmoud, Ibrahim, Ali y Ali, 2020) y su capacidad de retención de agua (Diacono y Montemurro, 2020), además, de aumentar la disponibilidad de nutrientes, la actividad enzimática y las características fisicoquímicas del suelo bajo condiciones adversas (Wu, Li, Zhang, Bi y Sun, 2018). Este enfoque es un método rentable y ecológico en la producción de cultivos agrícolas (Eboibi, Akpokodje, Nyorere, Oghenerukevwe y Uguru, 2021).

Por otra parte, las rizobacterias presentes en la rizosfera de las plantas también juegan un papel clave en el crecimiento de las raíces y de las plantas. Estas rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés) ofrecen una estrategia ecológica y sostenible para mejorar el rendimiento de los cultivos bajo condiciones de estrés ambiental (Osman, Rady, Awadalla, Omara y Hafez, 2022). Diversas especies de rizobacterias, como *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* y *Serratia*, han sido estudiadas por su capacidad para mejorar el crecimiento de las plantas en situaciones de salinidad y estrés hídrico, que perjudica el desarrollo radicular al incrementar la producción de etileno (Omara, Hadifa y Ali, 2022a). Tanto el compost como las PGPR son alternativas ecológicas que mejoran la absorción, asimilación y translocación de nutrientes hacia los tejidos vegetales, especialmente durante etapas críticas de crecimiento bajo estrés abiótico (Osman *et al.*, 2022; Hafez *et al.*, 2021).

El silicio (Si), aunque no es un elemento esencial, se considera beneficioso para el desarrollo de cultivos, especialmente en la familia de las Poáceas (Durga, 2020). Este macronutriente abunda en las plantas monocotiledóneas (Chang *et al.*, 2023), con concentraciones que varían entre el 0.1% y el 10% de la biomasa seca (Ma y Yamaji, 2015). El silicio no solo promueve el crecimiento y la absorción de nutrientes en cultivos como el arroz, sino que también participa en procesos fisiológicos y bioquímicos clave para el desarrollo y metabolismo de las plantas (Liu, Ouyang, Li, Fu y Shen, 2022). En el suelo, se encuentra en forma de dióxido de silicio (SiO₂), que constituye entre el 50% y el 70% de la masa total del suelo, mejorando tanto el rendimiento como la calidad de los cultivos, además de incrementar su resistencia ante diversas adversidades (Ahsan *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2021; Dong *et al.*, 2024).

El biocontrol microbiano, que utiliza microorganismos patógenos de insectos, representa una opción viable para la protección de cultivos. Sin embargo, productos bacterianos, virales o fúngicos suelen percibirse como costosos, imprácticos o ineficaces, especialmente en agricultura a gran escala, lo que ha limitado su adopción (Fite, Tefera, Negeri, Damte y Sori, 2019). El hongo patógeno de insectos *Metarhizium anisopliae* ha sido considerado como un prometedor agente de control biológico para la agricultura orgánica (Jiang *et al.*, 2019), pero su eficacia a gran escala aún no ha sido suficientemente demostrada, lo que limita su impacto en el control de plagas en cultivos como el arroz (Peng *et al.*, 2021). En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de prácticas agroecológicas y empleo del silicio en las variables días a floración y porcentaje de esterilidad de la panícula en el cultivo de arroz INIAP-14 en suelo franco arcilloso, en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio

La investigación se realizó en el período del mes de enero a mayo de 2021, en la finca experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en el km 7.5 de la vía Quevedo-El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador. Ubicada a 1° 04' 48.6" S y 79° 30' 04.2" O, a una altitud de 75 metros sobre el nivel del mar. La zona es tropical húmedo, con temperatura promedio anual de 25.3 °C, con precipitación media anual de 1587.5 mm; 86.0% de humedad relativa y 994.4 horas Sol al año. El suelo presenta una topografía plana, textura franco-arcilloso con un pH promedio de 5.5 (INAMHI, 2021).

Diseño Experimental y Tratamientos

El diseño experimental empleado fue completamente aleatorizado con seis tratamientos y cuatro repeticiones. El tamaño efectivo de las parcelas fue de 4 m² (2 m × 2 m), más un área de borde considerado no efectivo de 0.5 m (Castro-Álvarez, Morejón, Díaz y Álvarez, 2013). Los tratamientos del presente estudio fueron: T1= control absoluto (agua destilada), T2= Químico Buffago® (0.5 L ha⁻¹), T3= *Azotobacter chroococum* cepa Ag, 10⁹ UFC mL⁻¹ (1 mL L⁻¹) NEMAGREEN®, T4= compost líquido enriquecida con silicato de potasio (K₄SiO₂) a 10 mL L⁻¹, T5= *Metarhizium anisopliae*, cepa 45 a 1 × 10⁸ conidios mL⁻¹ (1.20 L ha⁻¹), T6= *M. anisopliae* + *Azotobacter chroococum* 10⁹ UFC mL⁻¹ + compost líquido enriquecida con K₄SiO₂. Las aplicaciones de los tratamientos se describen a continuación.

El tratamiento T2, consistió en la aplicación del insecticida Buffago® a una dosis de 0.5 L ha⁻¹ que es utilizado por los productores de la región durante el inicio de la floración del cultivo de arroz en una sola aplicación (Ruilova-Cueva, Cobos y Gómez, 2022), utilizando una aspersora Guarany® con boquilla de abanico número 06. El tratamiento T3, fue la aplicación del producto NEMAGREEN® base *A. chroococum*, cepa Ag a 1 × 10⁹ UFC mL⁻¹, en forma de preparación líquido en dosis de 20 L ha⁻¹ recomendado por el proveedor ECOVAD, el producto se inoculó sumergiendo las semillas durante 60 minutos con agua destilada a una dosis de 10 mL L⁻¹ de agua, posteriormente, se les extrajo el agua y se secaron en un medio aireado a la sombra por 12 horas (Llerena-Ramos, Reyes-Pérez, Álvarez-Sánchez y Pincay, 2021).

Para el tratamiento T4, se formuló un compost líquido enriquecido con K₄SiO₄. Primeramente, se elaboró el compost siguiendo la metodología descrita por Álvarez-Sánchez, Llerena-Ramos y Reyes (2021), utilizando 45.0 kg de sustrato compuesto por 30% de estiércol fresco de ganado vacuno (13.0 kg), 50% de residuos de maíz (*Zea mays* L.) (23.0 kg), 10% de restos de Kudú tropical (*Pueraria phaseoloides* L.) (5.0 kg), 9.0% de suelo (4.0 kg) y 1.0% de ceniza (0.5 kg), las cantidades pesadas en una báscula de plataforma (Camry, TCS 300 ZE21®). Se añadió melaza provenientes del proceso industrial de caña de azúcar (*Saccharum* sp.). Las pilas de compost fueron regadas semanalmente con una cantidad equivalente al 60% del peso base en agua (27 L), utilizando una regadera manual. La mezcla se volteó cada siete días durante 90 días para homogeneizar, oxigenar, regular la temperatura y mantener un nivel adecuado de humedad, asegurando así la uniformidad del compost. Posteriormente, cada pila se cubrió con plástico negro tras ser humedecida y homogenizada. Las características químicas del compost obtenido se muestran en la Cuadro 1. A partir de este compost, se preparó el compost líquido mezclando 250 g de compost con un litro de agua, dejándolo reposar por 24 horas para obtener una relación masa/volumen (m/v) del 25%. De esta solución madre, se preparó una dilución con una relación volumen/volumen (v/v) de 50.0 mL L⁻¹, aplicando una dosis de 10.0 L ha⁻¹. A cada litro de la solución final se le añadieron 10 g de K₄SiO₄ en formulación líquida. La aplicación asegurando una distribución uniforme sobre el follaje de las plantas de arroz se realizó con una aspersora Guarany® con boquilla de abanico número 06 cuando los tallos principales presentaron tres hojas, antes de la emergencia de los tallos primarios y secundarios características de la etapa de ahijamiento.

El tratamiento T5 consistió en la aplicación del producto comercial Meta 45®, base esporas de *M. anisopliae*, cepa 45, en una solución líquida concentrada con una concentración de 1 × 10⁸ conidios mL⁻¹ (Tuncer, Kushiye, Erper, Oguz y Saruhan, 2019; Valle-Ramírez, Torres, Caicedo, Abril y Sucoshañay, 2020). Las aplicaciones se realizaron vía foliar durante las primeras horas de la tarde, a una dosis de 1.20 L ha⁻¹, siguiendo las recomendaciones del proveedor ECOFERTILIZIN S.A.C. Se realizaron dos aplicaciones: la primera, cinco días antes del inicio de la floración, y la segunda, al comienzo de la floración. Para asegurar una distribución uniforme en el follaje de las plantas de arroz, se utilizó una aspersora Guarany® equipada con boquilla de abanico número 06.

Cuadro 1. Características químicas del compost utilizado para la formulación del abono orgánico "compost líquido" enriquecido con silicato de potasio (K_4SiO_4).
Table 1. Chemical characteristics of the compost used for the formulation of the organic fertilizer "liquid compost" enriched with potassium silicate (K_4SiO_4).

	pH	M.O. [¶]	N total	P ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	S=	B	Zn	Cu	Fe	Mn
					%						mg L ⁻¹		
Compost	7.5	11.5	1.8	0.48	1.2	3.93	0.48	0.25	36.00	96.00	42.00	603.00	338.00

[¶]= materia orgánica.

[¶]= organic matter.

Respecto al tratamiento T6, combinación *M. anisopliae* cepa 45 + *A. chroococum* cepa Ag a 1×10^9 UFC mL⁻¹ + compost líquido enriquecido con K_4SiO_4 . El microorganismo benéfico *Azotobacter* se aplicó a las semillas antes de la siembra, de acuerdo con lo explicado anteriormente para ese tratamiento de forma independiente (T3). El resto del tratamiento se elaboró mezclando el compost líquido con 10 g L⁻¹ de K_4SiO_4 aplicando 10 L ha⁻¹, más 1.20 L ha⁻¹ de *M. anisopliae*, y en una sola aplicación al inicio de la etapa de floración.

Manejo del Cultivo

Una vez delimitada el área del sitio experimental, se llevó a cabo la limpieza manualmente, utilizando machetes para dicha actividad. Posteriormente, el terreno fue preparado con un paso de rastra pesada y dos pasos de rastra liviana, ambos con rastra tipo MX 225[®] y un tractor John Deere[®] de 110 HP, serie 6J, dejando el suelo completamente mullido y listo para la siembra. La siembra se realizó manualmente, utilizando un espeque y colocando 20 semillas por hoyo, siguiendo un marco de plantación de 30 cm entre hileras y 25 cm entre plantas, lo que resultó en una densidad poblacional de 133 333 plantas ha⁻¹. El período de siembra inició el 09 de enero de 2021, y la cosecha tuvo lugar 117 días después, el 07 de mayo del mismo año. Para el control de malezas en preemergencia, se utilizó el herbicida Prowl[®] (Pendimethalin) a una dosis de 2 L ha⁻¹. Posteriormente, se realizó un deshierbe manual y se manejó el control de malezas manteniendo un nivel de agua de 5 centímetros, lo que evitó la germinación de nuevas malezas. Todo el manejo de experimento se realizó siguiendo la metodología para el cultivo del arroz para las condiciones de Ecuador (Ruilova-Cueva et al., 2022).

Durante el ciclo del experimento se registraron las precipitaciones diarias, y las temperaturas diarias máximas y mínimas, debido a que, en esa zona de Mocache, Quevedo la siembra de arroz se desarrolla en seco por la cantidad y distribución de las precipitaciones desde el mes de enero hasta mayo. Para las precipitaciones se muestra el total de la lluvia caída en mm con la cantidad de días del mes que se registró lluvia, mientras que para la temperatura se muestra el valor extremo de cada mes y la cantidad de días en que se produjo.

Variables Evaluadas

Los días a floración al 50% se determinaron registrando el número de días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas en cada parcela alcanzaron la floración o fuera de la hoja envainadora. El total de granos por panícula se evaluó en el momento de la cosecha, contando el número total de granos por panícula en 20 plantas seleccionadas al azar por parcela. La variable de granos vanos por panícula, también evaluada durante la cosecha, se calculó al contabilizar los granos vacíos o vanos del total de granos por panícula. Finalmente, la esterilidad de las panículas o vaneamiento se determinó como el porcentaje de granos vanos en relación con el total de granos por panícula, multiplicado por 100.

Análisis Estadísticos

Los datos obtenidos fueron sometidos a comprobación de normalidad mediante las pruebas de Shapiro-Wilk, y Lilliefors, mientras que la homogeneidad de las varianzas con la prueba de Levene, ambos supuestos fueron cumplidos. El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza de clasificación simple con efectos fijos, y la comparación múltiple de los tratamientos se llevó a cabo utilizando la prueba de Scott y Knott, adecuada para varianzas homogéneas. Además, se realizó un análisis de regresión simple para evaluar la relación entre los días a floración y el porcentaje de esterilidad de la panícula, y se encontró que el modelo sigmoidal de Hill fue el que mejor se ajustó. Se presentan la ecuación y los parámetros estadísticos correspondientes. El análisis de varianza se realizó con el software estadístico InfoStat 2020 (Di Rienzo et al., 2020), mientras que el análisis de regresión se llevó a cabo con el paquete estadístico R Core Team (2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cultivo de arroz es sensible a las temperaturas durante su fase de floración, que es crítica para la polinización y la formación del grano. Una temperatura máxima superior a 35 °C durante esta fase puede inducir la esterilidad del polen, lo que reduce la fertilización (Liu *et al.*, 2021; Sanwong, Sanitchon, Dongsansuk y Jothityangkoon, 2023).

En ninguno de los meses en que se desarrolló el cultivo del presente estudio la temperatura máxima superó los 35.0 °C. Los valores más elevados sólo ocurrieron en un día en marzo (33.5 °C) y abril (33.0 °C), por lo que no constituyó un factor limitante para la fertilidad de la floración que repercute en el vaneado del grano. Las temperaturas mínimas extremas tampoco constituyeron un factor limitante para la floración debido a que se consideran limitantes por debajo de los 10 °C, debido a que la temperatura mínima extrema ocurrió una sola vez en abril con 19.8 °C, en el resto de los meses estuvieron por encima de los 20.0 °C (Cuadro 2).

El arroz en la zona de estudio es un cultivo que depende del agua precipitada, especialmente durante la fase de floración. Un déficit hídrico o un exceso de precipitaciones pueden afectar el ciclo reproductivo. Los altos niveles de precipitaciones de enero (495.0 mm), febrero (482.0 mm) y marzo (465.3 mm) favorecieron el desarrollo vegetativo y reproductivo del cultivo. En el mes de abril con 327.7 mm, se produjo una disminución de las precipitaciones en más de 100 mm sin afectar el desarrollo vegetativo y reproductivo, mientras que las precipitaciones de los días que antecedieron a la cosecha en el mes de mayo fueron bajas.

Estos resultados de las variables climáticas inducen a primera vista argumentar que no constituyeron un factor limitante para afectar la esterilidad de la panícula, y parece estar más relacionado con aspectos de la nutrición de las plantas por efecto de los tratamientos aplicados.

Días a Floración

De acuerdo al análisis de varianza para la variable días a floración al 50% se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). Los menores días a floración se alcanzaron con la aplicación del tratamiento T6 (*Azotobacter* + compost líquido con silicio + *Metarhizium*), con 72.8 días para florecer, y constituye el tratamiento más efectivo para acelerar la floración. Este tratamiento superó significativamente al resto de los tratamientos (Figura 1).

El tratamiento T6 combina prácticas que actúan sinérgicamente para mejorar el crecimiento y desarrollo de la planta, acelerando la aparición de la floración. Por ejemplo, *Azotobacter* es un género de bacterias que fija nitrógeno atmosférico, convirtiendo en formas de nitrógeno disponibles para la planta (como amonio). El nitrógeno es un nutriente esencial para la síntesis de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, lo que promueve un crecimiento vegetativo vigoroso y puede acelerar la transición a la fase reproductiva en que se produce la floración. Este género de bacterias también puede producir fitohormonas como auxinas, que promueven el crecimiento de raíces y mejoran la absorción de nutrientes, lo que podría llevar a una floración más temprana (Cho, Yoon y An, 2017; Camut *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2021).

Cuadro 2. Cantidad de días en que ocurrieron temperatura máxima y mínima extrema, así como precipitaciones en el período del ciclo del cultivo de arroz durante el año 2021.

Table 2. Number of days when extreme maximum and minimum temperature and rainfall occurred in the rice crop cycle period during the year 2021.

	Temperatura máxima extrema				
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Cantidad días	1	1	1	1	1
°C	32.0	32.2	33.5	33.0	32.0
	Temperatura mínima extrema				
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Cantidad días	1	1	1	1	1
°C	20.4	24.0	21.5	19.8	21.0
	Precipitaciones totales				
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Cantidad días	29	26	27	21	Día 5-7
mm, total	495.0	482.0	465.3	327.7	43.0

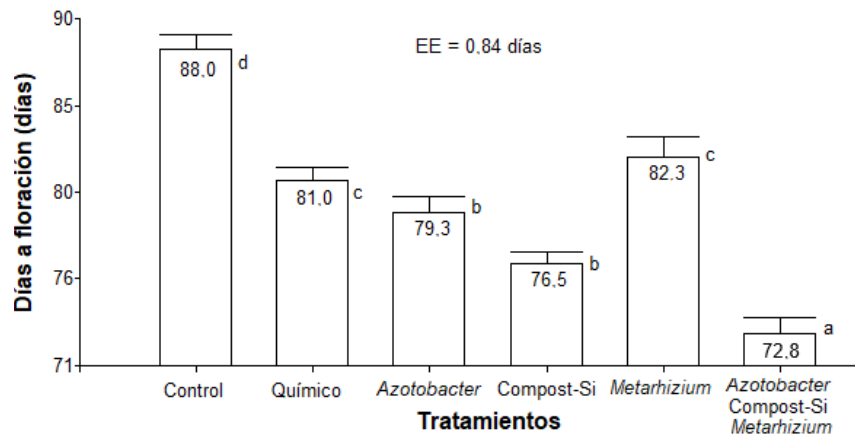


Figura 1. Valores promedios de los días a floración y su error estándar para los seis tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas para valores de $P \leq 0.05$ a través de la prueba de Scott y Knott para varianzas homogéneas. Compost-Si= compost líquido enriquecida con silicato de potasio (K_4SiO_2).

Figure 1. Mean values of days to flowering and their standard error for the six treatments. Different letters indicate significant differences for $P \leq 0.05$ using the Scott-Knott test for homogeneous variances. Compost-Si= liquid compost enriched with potassium silicate (K_4SiO_2).

El compost es un abono que mejora la fertilidad del suelo, al aportar materia orgánica que mejora la estructura del suelo, la retención de agua, y proporciona una liberación lenta de nutrientes, creando un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas. El compost también contiene una variedad de microorganismos beneficiosos que pueden mejorar la salud de la planta y su capacidad para resistir enfermedades, reduciendo el estrés y permitiendo que la planta se desarrolle más rápidamente hacia la floración (Osman *et al.*, 2022). El compost es rico en ácidos húmicos, hormonas de crecimiento (auxinas y citoquininas), aminoácidos, enzimas, vitaminas, nutrientes (N, K, Mg, Zn, Ca, Fe y Cu), así como microorganismos beneficiosos, que pueden mejorar el crecimiento y la productividad de los cultivos y aumentar la resistencia contra plagas (Aghamohammadi, Etesami y Alikhani, 2016; Ibrahim, 2019; Amer, Aabd-Allah, Kasem y Omara, 2021; Ghaffari, Tadayon, Bahador y Razmjoo, 2022 y Osman *et al.*, 2022). El compost mejora la elongación de las raíces y el crecimiento de las plantas al producir tanto citoquininas (Zhang *et al.*, 2014) como ácido giberelico, además de amortiguar el pH del suelo debido a la presencia de ácidos orgánicos y sustancias húmicas (Morales-Corts, Pérez y Gómez, 2018; Van Heerden y Hardie, 2020). Moridi, Zarei, Moosavi y Ronaghi (2019) sugirieron que la aplicación de fertilizantes orgánicos líquidos como el compost líquido puede aumentar el peso seco de los brotes, la absorción de nutrientes por los brotes y reducir el consumo de agua de las plantas de maíz cultivadas bajo estrés hídrico, y observaron un efecto positivo en la planta de remolacha azucarera expuesta a estrés hídrico mediante pulverización foliar con compost, lo que mejoró la dinámica de crecimiento, el proceso fisiológico y la productividad (Omara *et al.*, 2022b; Omara *et al.*, 2022a).

Pang, Zhao, Xu y Yu (2020) afirman que, al aplicar bacterias y hongos endofíticos para aliviar el estrés por sequía en arroz, encontraron incrementos en la actividad de enzimas antioxidantes, el contenido de azúcar soluble y el crecimiento de las plantas. Abd El-Mageed, El-Mageed, El-Saadony, Abdelaziz y Abdou (2022) mostraron que las plantas de arroz expuestas a estrés por sequía (riego por goteo deficitario) e inoculadas con PGPR (*Bacillus subtilis* y *B. megatherium*) podrían mitigar los efectos perjudiciales del estrés hídrico al mejorar los pigmentos fotosintéticos, las enzimas antioxidantes, el crecimiento y el rendimiento de las plantas.

El silicio es un refuerzo estructural, debido a que fortalece las paredes celulares, lo que ayuda a las plantas a resistir mejor el estrés del tipo abiótico, y biótico, como por el ataque de plagas. Una mejor tolerancia al estrés puede significar un desarrollo más rápido y una floración más temprana. El silicio también puede mejorar la eficiencia en la absorción de ciertos nutrientes minerales esenciales, y sirve de apoyo para un crecimiento más vigoroso y una transición más rápida a la fase de floración (Ahsan *et al.*, 2023; Dong *et al.*, 2024).

El microorganismo benéfico *Metarhizium* es un hongo entomopatógeno que ayuda a controlar poblaciones de insectos plaga. Menos daño por plagas puede resultar en menos estrés provocado por factores bióticos y, por lo tanto, en un desarrollo más rápido hacia la floración (Jiang *et al.*, 2019; Peng *et al.*, 2021).

La combinación completa de estos agentes (*Azotobacter*, compost líquido, silicio, *Metarhizium*) parece proporcionar un efecto sinérgico, maximizando las condiciones de crecimiento y llevando a una floración más temprana que cualquier tratamiento individual o combinación parcial. En orden de mérito los resultados del tratamiento combinado fueron seguidos por los tratamientos individuales con *Azotobacter* y té compost-con silicio. Estos tratamientos tienen medias que oscilan entre 79.3 y 76.5 días respectivamente. Todos ellos son menos efectivos que el tratamiento combinado, pero más efectivos que el tratamiento T1 (control).

El tratamiento T1 alcanzó la media más alta de días a floración con 88.0 días, lo que indica que, sin intervención de tratamientos la floración es la más tardía. Es significativamente diferente de todos los otros tratamientos. El tratamiento T1 al no incluir ninguna de las prácticas agroecológicas mencionadas anteriormente, probablemente deja a las plantas en un estado donde deben depender únicamente de los recursos y las condiciones naturales del suelo, lo que puede no ser óptimo, y que con una limitada fijación de nitrógeno adicional por *Azotobacter*, ni la liberación lenta de nutrientes por efecto del compost, las plantas en el tratamiento T1 podrían tener acceso limitado a nutrientes esenciales, lo que podría retrasar su crecimiento y, en consecuencia, la floración. Por otro lado, son limitados los beneficios protectores del silicio y la acción de control de plagas de *Metarhizium*, las plantas pueden experimentar mayor estrés abiótico y biótico, lo que también podría contribuir a un desarrollo más lento y a una floración más tardía.

En consideración general, el tratamiento T6 (*Azotobacter* + compost líquido con silicio + *Metarhizium*) es el más efectivo para reducir el número de días a la floración, mientras que el tratamiento T1 es el menos efectivo, resultando en la floración más tardía. Los otros tratamientos (*Azotobacter*, compost líquido con silicio, químico y *Metarhizium*) tienen efectos intermedios, con diferencias no significativas entre ellos.

Los otros tratamientos, que incluyen insecticida químico Buffago® (T2), *Azotobacter* (T3), *Metarhizium* (T5) y compost líquido con silicio (T6), de manera aislada o en combinaciones parciales, tienen efectos intermedios. Esto sugiere que cada uno de estos tratamientos ofrece algunos beneficios fisiológicos que mejoran el crecimiento y aceleran la floración en cierta medida, pero no tan eficazmente como el tratamiento T6 base *Azotobacter* + compost líquido con silicio + *Metarhizium*.

El tiempo de floración es un rasgo agronómico importante en el arroz, ya que determina el rendimiento del grano y la capacidad de adaptación regional de variedades y cultivares. Estudios previos han identificado los siguientes genes principales relacionados con la floración en el arroz: Hd3a, Hd1, Hd6, Ehd1 y Ghd7. Las rutas independientes Hd1-Hd3a y Ghd7-Ehd1-Hd3a controlan el tiempo de floración en el arroz (Cho, Yoon, Pasriga y An, 2016; Fu, Liu y Liu, 2021). Estos genes responden a estímulos ambientales como la longitud del día (fotoperiodo) y la temperatura, lo que les permite ajustar el tiempo de floración a las condiciones locales. Esto es crucial para maximizar el rendimiento en diferentes regiones (Fu et al., 2021).

El florígeno es una molécula con efecto hormonal que induce la floración en las plantas. Es un compuesto que se sintetiza en las hojas y se transporta al meristemo apical o la parte superior del tallo donde se forman nuevas estructuras, para desencadenar el proceso de floración. El florígeno actúa como un mensajero que convierte el estímulo ambiental, como la longitud del día (fotoperiodo) o la temperatura, en una respuesta fisiológica que resulta en la formación de flores (Du et al., 2017; Fu et al., 2018).

En el arroz, el florígeno está representado por una proteína clave llamada Hd3a, que es homóloga a la proteína FT (Flowering Locus T) en plantas como *Arabidopsis*. Esta proteína es responsable de iniciar la floración cuando las condiciones ambientales son adecuadas (Fu y Liu 2020a).

Fu et al. (2021) demostraron que el tiempo de floración de la línea transgénica de arroz resistente a insectos cry1Ab/c, denominada HH1, se retrasó en comparación con la línea parental de arroz MH63, cultivada en suelos salinos-alcálinos. Es evidente que el tiempo de floración está regulado por muchos factores; puede estar regulado no sólo por factores ambientales, sino también por genes exógenos, lo que demuestra que la regulación del tiempo de floración es compleja y puede ser influenciada por factores ambientales (como el tipo de suelo) y por las modificaciones genéticas. Los genes que regulan la floración del arroz podrían finalmente actuar sobre la proteína Hd3a (florígeno), que es una señal integrada que se mueve desde la hoja hasta el meristemo apical del tallo e induce la floración en el arroz. Por lo tanto, se asemeja a la proteína FT observada en *Arabidopsis* (Fu y Liu 2020a).

La proteína Hd3a es fundamental para el control del tiempo de floración en el arroz. Funciona como un florígeno, una señal química que inicia la transición de la planta desde el crecimiento vegetativo hasta la fase reproductiva (floración). Esta señal se origina en las hojas y se transporta hacia el meristemo apical, el área en la punta del tallo donde se forman nuevas estructuras, como las flores (Fu y Liu 2020b). Este mecanismo es comparable al que se observa en *Arabidopsis*, una planta modelo ampliamente estudiada, donde la proteína FT cumple un papel similar al de Hd3a. La similitud entre estas proteínas en plantas diferentes sugiere que los

mecanismos moleculares que regulan la floración están conservados en diversas especies. Esto implica que los genes involucrados en la floración de arroz podrían influir en la producción de Hd3a, lo que a su vez controla cuándo la planta comienza a florecer (Fu *et al.*, 2021). La regulación precisa del tiempo de floración es crucial para el rendimiento de cultivos como el arroz, ya que una floración temprana o tardía puede afectar el ciclo reproductivo y, en última instancia, el rendimiento en términos de producción de grano.

Por otra parte, en el tratamiento T1 (control) se observó presencia de plaga que originó el valor mayor de los días a floración implica que el arroz puede entrar en las etapas reproductivas (floración y formación de grano) fuera de las condiciones climáticas óptimas o a condiciones de estrés abiótico como las altas temperaturas, la planta se expone a un mayor tiempo expuesta a plagas lo que incrementa la probabilidad de que se produzcan más daños.

Esterilidad de la Panícula (%)

El tratamiento T6 (*Azotobacter* + compost líquido con silicio + *Metarhizium*) alcanzó el porcentaje de esterilidad de la panícula más bajo (9.0%), sin diferencias significativas con los tratamientos T2 base insecticidas químicos Buffago® (11.3%), T3 *Azotobacter* (10.4%) y el tratamiento T4 con té compost con silicio (9.8%). El tratamiento T5 *Metarhizium* (15.3%) y T1 control (16.5 %) obtuvieron los porcentajes de esterilidad de la panícula más elevados (Figura 2).

Se mostró una clara diferencia estadística en el porcentaje de esterilidad de la panícula entre los tratamientos. Esto sugiere que las intervenciones a través de los tratamientos aplicados tienen un impacto significativo en la variable porcentaje de esterilidad de la panícula.

Azotobacter es una bacteria que fija nitrógeno, promoviendo la salud de las raíces y el crecimiento de la planta. Su presencia probablemente ayuda a mejorar la salud general de la panícula, reduciendo su esterilidad por incremento de la producción de fitohormonas del tipo de las auxinas y giberelinas. Estudios previos han demostrado que hormonas como GA3, IAA y NAA también tienen un efecto positivo en los rasgos florales, lo que subraya la importancia de este tipo de tratamientos con bacterias en la mejora de las características reproductivas del arroz (Majeed, Muhammad, Islam, Ullah y Ullah, 2017; Pathak *et al.*, 2018; Zheng *et al.*, 2018; Hamad *et al.*, 2022).

Compost-silicio mejora la fertilidad del suelo y la retención de nutrientes. El silicio, además, refuerza las paredes celulares de las plantas, haciéndolas más resistentes al estrés abiótico y biótico, lo que puede reducir la esterilidad Chaiwong, Rerkasem, Pusadee y Prom (2020).

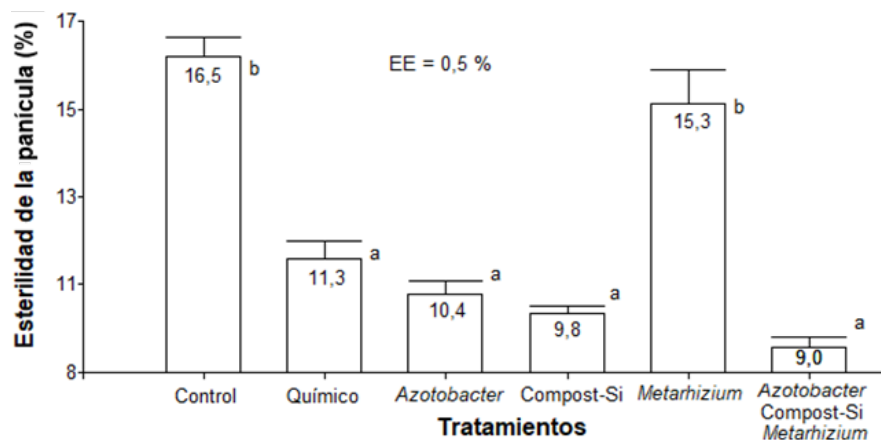


Figura 2. Valores promedios del porcentaje de esterilidad de la panícula y su error estándar para los seis tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas para valores de $P < 0.05$ a través de la prueba de Scott y Knott para varianzas homogéneas. Compost-Si= compost líquido enriquecida con silicato de potasio (K_4SiO_2).

Figure 2. Average values of panicle sterility percentage and its standard error for the six treatments. Different letters indicate significant differences for values of $P < 0.05$ through the Scott-Knott test for homogeneous variances. Compost-Si= liquid compost enriched with potassium silicate (K_4SiO_2).

Chaiwong et al. (2020) encontraron que el silicio es un factor limitante en la formación de las panículas de arroz. Está bien establecido que la formación de espiguillas es un paso clave en la determinación del rendimiento en el arroz (Yoshida, 1981). El papel del silicio en la formación de espiguillas, por lo tanto, debería ser particularmente relevante en aquellos genotipos de arroz que requieren más silicio en su cáscara (Chaiwong, Lordkaew, Yimyam, Rerkasem y Prom, 2018), así como en el genotipo CNT1. Estudios previos han reportado roles directos del silicio en la reproducción sexual de plantas; se informó que aumentar el suministro de silicio incrementa la producción de polen y la viabilidad del polen en la planta de lirio de plátano, Krossa Regal (Hosta Tratt) (Denisow, Pogroszewska y Laskowska, 2015). En el arroz, la aplicación de silicio mejoró la diferenciación y el desarrollo de las estructuras reproductivas del arroz al aumentar el vigor del polen, el número de granos de polen por estigma y la tasa de germinación del polen bajo estrés por altas temperaturas (Wu et al., 2013). También se ha reportado que el silicio tuvo una función importante en el aumento de la fuerza y el grosor de la pared de la antera, lo que promovió la apertura de la antera del arroz y aumentó el número de granos de polen por estigma (Liang, Nikolic, Bélanger, Gong y Song, 2015). El presente estudio ha mostrado que otra diferencia entre los genotipos CNT1 y PTT1 fue la sensibilidad al silicio en sus procesos de fertilización, aunque el mecanismo subyacente aún debe ser aclarado.

Con el riesgo de agotamiento de silicio en los suelos de arroz, especialmente aquellos con una larga historia de cultivo, el establecimiento de la respuesta del rendimiento del arroz al silicio y la identificación de la concentración crítica de silicio en la cáscara, por debajo de la cual la formación de espiguillas se vería afectada negativamente, sería muy útil. También es de interés cómo esto podría diferir entre los genotipos de arroz con bajo y alto contenido de silicio en la cáscara, así como la concentración de silicio en el estigma, ya que esto puede afectar la fertilidad y el número de espiguillas por panícula. Se ha informado que la distribución de silicio en las panículas y la cáscara requiere la expresión de *OsLsi6*, ya que la eliminación del gen transportador resultó en una disminución del 51% en la acumulación de silicio en las panículas (Ma y Yamaji, 2015).

La combinación de *Azotobacter*, té compost con silicio y *Metarhizium* constituye un tratamiento que integra las ventajas de microorganismos capaces de fijar nitrógeno (*Azotobacter*), la mejora de la estructura del suelo y la resistencia al estrés (a través del compost y el silicio), así como el control biológico de plagas (mediante *Metarhizium*). Esta sinergia podría contribuir a la reducción tanto del estrés biótico como abiótico, lo que a su vez podría disminuir de manera significativa la esterilidad de las panículas. En cuanto a *Metarhizium*, se trata de un hongo entomopatógeno que actúa contra ciertas plagas. Aunque presenta ventajas en el control biológico, su eficacia para mitigar la esterilidad de las panículas de forma aislada parece ser limitada.

Por otro lado, el tratamiento T2 (insecticida Químico Buffago®), a pesar de que los productos sintéticos pueden ofrecer una respuesta rápida en términos de control de plagas o mejora de la fertilidad del suelo, no parece ser tan efectivo como las alternativas biológicas y combinadas para reducir la esterilidad de las panículas. El tratamiento T1 (control) muestra el mayor nivel de esterilidad, lo que resalta la necesidad de implementar tratamientos que favorezcan la salud y productividad de las plantas. En este contexto, el tratamiento T6, que combina *Azotobacter*, compost líquido con silicio y *Metarhizium*, se revela como el más eficiente para disminuir la esterilidad de las panículas. Desde una perspectiva de fisiología vegetal, la integración de prácticas biológicas junto con el uso de enmiendas naturales, como el compost y el silicio, parece ser más efectiva que los tratamientos químicos o la falta de intervención.

Relación entre los Días a Floración y el Porcentaje de Esterilidad de la Panícula

Una vez haber valorado varios modelos de regresión simple no lineales, el modelo que arrojó el mejor ajuste debido a un coeficiente de determinación más elevado y el criterio de información de Akaike menor correspondió al modelo sigmoidal de Hill.

El modelo sigmoidal de Hill es una forma específica de la función sigmoidal que se utiliza para describir procesos de crecimiento o respuesta en biología y otras ciencias (Figura 3). Esta ecuación describe una función sigmoidal, típica de modelos de Hill, que representa una curva en forma de "S". Esto sugiere que, a medida que aumenta el número de días a la floración, la esterilidad de la panícula se incrementa de manera no lineal. El modelo muestra que la esterilidad de la panícula se mantiene relativamente baja al principio, pero luego experimenta un aumento acelerado a medida que se alcanzan aproximadamente 82 días de floración. Más allá de este punto, la esterilidad sigue aumentando, aunque el crecimiento es más lento, lo que es típico de un ajuste sigmoidal.

Los parámetros de la ecuación del modelo mostrado en el presente estudio son: (17.86): Es el valor máximo asintótico de la función, que representa el porcentaje máximo de panículas estériles que se puede alcanzar. (82.39): Indica el valor de días a floración en el punto de inflexión, en el cual la tasa de cambio de la esterilidad de la panícula es máxima. (-29.37): Describe la pendiente o empujamiento de la curva en el punto de inflexión. Un valor negativo indica que la relación es decreciente inicialmente en el punto de inflexión. Este parámetro afecta la pendiente de la curva. (8.8392): Es el valor mínimo asintótico de esterilidad de la panícula. Los valores entre paréntesis junto a cada parámetro representan el intervalo de confianza de cada estimación, lo que proporciona una idea de la precisión de los parámetros (Figura 3).

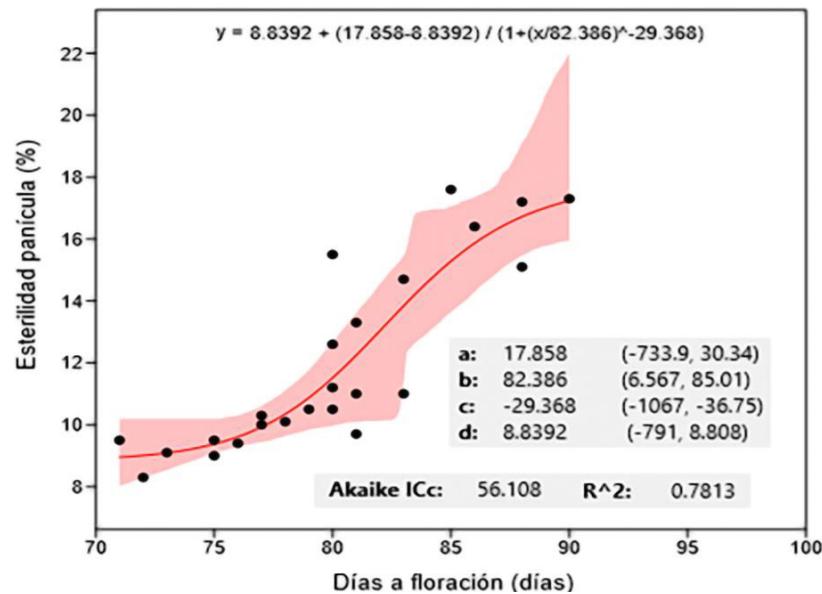


Figura 3. Relación a través del modelo sigmoidal de Hill y los parámetros del modelo entre los días a floración y el porcentaje de esterilidad de las panículas. El área sombreada representa el intervalo de confianza con un 95.0% de confiabilidad. En la ecuación (y) representa el porcentaje de esterilidad de la panícula, mientras que la (x) los días a la floración.

Figure 3. Relationship through Hill sigmoidal model and model parameters between days to flowering and panicle sterility percentage. The shaded area represents the confidence interval with 95.0% reliability. In the equation (y) represents the panicle sterility percentage, while (x) represents the days to flowering.

Coefficiente de determinación. ($r^2 = 0.7813$) Indica que el 78.13% de la variabilidad observada en la esterilidad de la panícula puede explicarse por la relación no lineal con los días a la floración. Un r^2 cercano a 1 implica un buen ajuste del modelo a los datos. El restante 22.0% de estos resultados puede deberse a otras causas propias del cultivar (genéticas) o de las condiciones edafoclimáticas del lugar en ese período de tiempo. Criterio de información de Akaike (AICc = 56.108): Es una medida de la calidad del modelo que penaliza la complejidad del mismo, utilizado para comparar modelos. Un valor más bajo de AICc indica un mejor ajuste del modelo de regresión a los datos con un equilibrio entre precisión y simplicidad. Un AIC de 56.10 sugiere que el modelo tiene un buen equilibrio entre ajuste y complejidad.

Banda de confianza (zona rosada). La banda de confianza alrededor de la curva representa la incertidumbre en la estimación del ajuste. Las zonas más anchas indican mayor incertidumbre en esas regiones del modelo. La gráfica muestra una línea de regresión con una banda que representa el intervalo de confianza alrededor de la línea ajustada. Este intervalo indica el rango en el cual se espera que se encuentren los valores predichos, y la estrechez de la banda sugiere un ajuste preciso (Figura 3).

Desde el punto de vista de la fisiología vegetal del arroz, los resultados de esta regresión no lineal sugieren importantes implicaciones sobre cómo el tiempo de floración afecta el porcentaje de esterilidad de la panícula. Analizando desde este contexto, podemos extraer las siguientes interpretaciones: la curva sigmoidal que relaciona los días a floración con la esterilidad de la panícula sugiere que, en el arroz, al principio, la esterilidad de la panícula se mantiene baja, pero conforme se incrementan los días a floración (especialmente alrededor de los 82 días), la esterilidad de la panícula se incrementa. Sin embargo, una vez que se acercan los 82 días (que es el punto de inflexión según el modelo), las plantas parecen entrar en una fase crítica, donde cualquier pequeño cambio en el ambiente o el desarrollo interno de la planta podría afectar la fertilidad, aumentando drásticamente la esterilidad de la panícula.

Este resultado podría estar vinculado a las condiciones fisiológicas críticas durante el proceso de floración del arroz. La floración es un momento clave para la formación de granos, y cualquier factor que interfiera con la formación de las flores, como el estrés por temperatura, estrés hídrico o nutricional, puede afectar la fertilidad de las flores, incrementando la esterilidad de la panícula.

El comportamiento de la curva sugiere la existencia de un intervalo crítico en torno a los 82 días en la que se debe prestar especial atención a las condiciones del cultivo (suelo, agua, temperatura, nutrición). Antes de este punto, la esterilidad no aumenta significativamente, lo que sugiere que las intervenciones, como el riego o la gestión del estrés térmico, podrían tener un mayor impacto si se aplican en esta fase temprana. Después de ese periodo, las posibilidades de mitigar la esterilidad disminuyen, ya que el aumento de la esterilidad parece ser más irreversible. Después de los 82 días (punto de inflexión), la curva muestra un aumento de la esterilidad, pero de manera menos acelerada. Este comportamiento puede estar relacionado con el hecho de que, una vez que se pasa el periodo crítico de la floración, los daños ya se han hecho y las flores que sobrevivieron tienden a continuar su desarrollo normalmente, aunque con un porcentaje mayor de esterilidad.

Este análisis puede guiar la selección de variedades de arroz que sean menos sensibles al estrés en torno a los días críticos de floración, seleccionando cultivares que presenten menor esterilidad incluso bajo condiciones subóptimas. Para el manejo agronómico del cultivo los resultados pueden ayudar a planificar el riego y las estrategias de manejo del estrés, enfocándose en los días clave de floración (alrededor de 82 días) para minimizar la esterilidad.

El análisis revela que, desde la fisiología del arroz, la floración es una fase sumamente sensible que tiene un impacto directo sobre la fertilidad de la panícula. Los 82 días marcan un punto crítico en el que cualquier alteración en las condiciones ambientales o fisiológicas puede incrementar drásticamente la esterilidad. Por lo tanto, es crucial optimizar el manejo del cultivo, prestando especial atención a factores como la temperatura, el agua y los nutrientes durante este periodo, para maximizar la producción de granos y minimizar la esterilidad de la panícula. Este análisis sugiere que retrasos en la floración están asociados con un aumento en la esterilidad de la panícula, lo que puede ser importante para tomar decisiones sobre el manejo del cultivo de arroz. Reducir los días a floración en el arroz puede tener varios beneficios agronómicos y productivos, dependiendo del entorno de cultivo y las condiciones climáticas.

Evitar el estrés abiótico durante la floración (temperaturas extremas y déficit hídrico). La floración es una etapa crítica en la que el arroz es particularmente sensible al estrés por calor. Si la floración ocurre más temprano en la temporada, antes de que las temperaturas máximas se vuelvan extremas, se puede reducir la esterilidad de la panícula y mejorar la producción de granos. Para el estrés hídrico por déficit reducir los días a floración permite sincronizar esta fase crítica con periodos en los que el agua esté disponible, evitando los efectos negativos del estrés por sequía que puede afectar el desarrollo de las espiguillas y reducir el rendimiento. Para regiones donde el agua es un recurso limitado, una variedad de arroz que florezca más rápidamente utilizará menos agua durante su ciclo de vida total. Esto permite que el cultivo complete su fase reproductiva antes de que los niveles de agua disminuyan, haciendo que sea más adecuado para condiciones de riego controlado o ambientes con déficit hídrico. Válido para eludir o minimizar el efecto de alta incidencia de ciclones o tifones en determinados periodos de tiempo.

Frente al estrés del tipo biótico floraciones más tempranas completan su ciclo de vida más rápido, lo que puede reducir su exposición a plagas que tienden a aumentar a medida que avanza la temporada de cultivo. Al minimizar el intervalo de tiempo durante la cual la planta está en el campo, se reduce la probabilidad de que los cultivos sean atacados por organismos como insectos o patógenos que afectan durante las fases vegetativa o reproductiva.

Periodos de floración más cortos para regiones con temporadas de cultivo cortas, donde el intervalo entre siembra y cosecha del arroz es limitado por factores climáticos como las temperaturas extremas o el déficit hídrico, reducir los días a floración permite que el cultivo madure antes de que comiencen las condiciones adversas, pero en zonas con condiciones climáticas favorables en todo el año permite cultivar varias veces, debido a que se acorta el ciclo total de cultivo, lo que facilita que los agricultores realicen más de una cosecha de arroz en un mismo año, dependiendo de las condiciones climáticas y del agua disponible. Esto es especialmente beneficioso en áreas tropicales donde el clima permite un ciclo de producción rápido, con incrementos en la productividad y la rentabilidad por unidad de superficie.

Relacionado con el manejo de la fitotecnia del cultivo un ciclo de cultivo más corto permite que el arroz florezca y complete su desarrollo antes de que las malezas tengan la oportunidad de crecer y competir de manera significativa por recursos como agua, luz y nutrientes. Esto reduce la necesidad de control de malezas y plagas, y mejora la eficiencia en el uso de insumos agrícolas, a través de la mejora de la eficiencia en la absorción y uso de los nutrientes, dado a que la planta reduce su ciclo vegetativo en el campo, lo que disminuye a su vez las pérdidas por lixiviación o volatilización de fertilizantes.

Los autores de esta investigación no encontraron resultados que relacionan los días a floración con el porcentaje de esterilidad de la panícula, sí para el rendimiento agrícola (muy dependiente del llenado o no de los granos), tal es el caso de Ranawake, Amarasinghe, Hewage y Pradeepika (2014) que en arroz encontraron que el efecto

de los días hasta la floración sobre el rendimiento fue máximo cuando fueron alrededor de los 80 días, y hasta los 90 días. Por encima de los 90 días, el efecto de los días hasta la floración sobre el rendimiento fue negativo, demostraron que para esas condiciones la relación entre los días a floración sobre el rendimiento fue una relación cúbica, lo que concuerda con esta investigación que no es una relación lineal, con la diferencia de que para los resultados que se presentan se encontró una relación no lineal sigmoidea de Hill.

Maximizar los rendimientos requiere una fertilización óptima. Se ha demostrado que diferentes nutrientes influyen en la floración. El suministro de K y P acelera la floración, mientras que la fertilización baja o alta con N la retrasa (Ye *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2021). Existen escasas evidencias acerca del efecto de las fitohormonas en la regulación de la floración en el arroz (Vicentini *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

En conclusión, esta investigación destaca la relevancia de integrar prácticas agroecológicas, como el uso de microorganismos benéficos con son *Azotobacter chroococum* y *Metarhizium anisopliae* en combinación con abonos orgánicos como el compost líquido enriquecido con K_4SiO_4 , en el cultivo de arroz para mejorar la sostenibilidad y productividad. Estos enfoques no sólo promueven un mayor rendimiento del cultivo al reducir la esterilidad de la panícula, sino que también favorecen la salud general del ecosistema agrícola, lo cual es crucial para el futuro de la agricultura a nivel global.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles a pedido razonable del autor correspondiente.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: L.T.L.I.T. y J.J.R.P. Metodología: L.T.L.I.R. Software: S.L.A. Validación: J.J.R.P., M.J.P. y S.L.A. Análisis formal: J.J.R.P. Investigación: L.T.L.I.R. y S.R.R. Curación de datos: L.T.L.I.R. Escritura, preparación del borrador original: L.T.L.I.T., J.J.R.P. y B.E.P. Escritura, revisión y edición: L.T.L.I.R., S.R.R., J.J.R.P., S.L.A., M.J.P. y B.E.P. Administración del proyecto: L.T.L.I.T. Adquisición de fondos: J.J.R.P. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por el apoyo otorgado a través del Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT) 10ma Convocatoria, a través del proyecto PFOC 10-01-2024 "Respuesta de soya, frejol y arroz a la inoculación de rizobios bajo condiciones del Litoral Ecuatoriano".

LITERATURA CITADA

- Abd El-Mageed, T. A., El-Mageed, Sh. A., El-Saadony, M. T., Abdelaziz, S., & Abdou, N. M. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria improve growth, morpho-physiological responses, water productivity, and yield of rice plants under full and deficit drip irrigation. *Rice*, 15(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12284-022-00564-6>
- Abdelrasheed, K. G., Mazrou, Y., Omara, A. E. D., Osman, H. S., Nehela, Y., Hafez, E. M., ... & Gowayed, S. M. (2021). Soil amendment using biochar and application of K-humate enhance the growth, productivity, and nutritional value of onion (*Allium cepa* L.) under deficit irrigation conditions. *Plants*, 10(12), 2598. <https://doi.org/10.3390/plants10122598>
- Aghamohammadi, Z., Etesami, H., & Alikhani, H. A. (2016). Vermiwash allows reduced application rates of acaricide azocyclotin for the control of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch, on bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ecological Engineering*, 93, 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.041>
- Ahsan, M., Valipour, M., Nawaz, F., Raheel, M., Abbas, H. T., Sajid, M., ... & Zulfikar, H. (2023). Evaluation of silicon supplementation for drought stress under water-deficit conditions: an application of sustainable agriculture. *Agronomy*, 13(2), 599. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020599>
- Álvarez-Sánchez, A. R., Llerena-Ramos, L. T., & Reyes-Pérez, J. J. (2021). Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-10. e916. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.916>
- Amer, M. M., Aabd-Allah, Y. A. M., Kasem, A. A., & Omara, A. E. D. (2021). Saline-sodic soils treated with some soil amendments and foliar application with compost tea and proline for improvement some soil properties and yield-water productivity of rice. *International Journal of Plant & Soil Science*, 33(1), 1-15. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i130402>
- Camut, L., Gallova, B., Jilli, L., Sirlin-Josserand, M., Carrera, E., Sakvarelidze-Achard, L., ... & Achard, P. (2021). Nitrate signaling promotes plant growth by upregulating gibberellin biosynthesis and destabilization of DELLA proteins. *Current Biology*, 31(22), 4971-4982. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.09.024>
- Castro-Álvarez, R., Morejón-Rivera, R., Díaz-Solís, S., & Álvarez-García, G. (2013). Efecto de borde y validez de los muestreos en el cultivo del arroz. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 70-75.
- Chaiwong, N., Lordkaew, S., Yimyan, N., Rerkasem, B., & Prom-u-thai, C. (2018). Silicon nutrition and distribution in plants of different Thai rice varieties. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20, 669-675. <https://doi.org/10.17957/ijab/15.0543>
- Chaiwong, N., Rerkasem, B., Pusadee, T., & Prom-u-thai, T. (2020). Silicon application improves caryopsis development and yield in rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(1), 220-228. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10634>
- Chang, Y., Cui, H., Wang, Y., Li, C., Wang, J., Jin, M., ... & Wang, Z. (2023). Silicon spraying enhances wheat stem resistance to lodging under light stress. *Agronomy*, 13(10), 2565. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102565>
- Chen, H. Y., Lin, S. H., Cheng, L. H., Wu, J. J., Lin, Y. C., & Tsay, Y. F. (2021). Potential transceptor AtNRT1.13 modulates shoot architecture and flowering time in a nitrate-dependent manner. *Plant Cell*, 33, 1492-1505. <https://doi.org/10.1093/plcell/koab051>
- Cho, L. H., Yoon, J., & An, G. (2017). The control of flowering time by environmental factors. *The Plant Journal*, 90, 708-719. <https://doi.org/10.1111/tpj.13461>
- Cho, L. H., Yoon, J., Pasriga, R., & An, G. (2016). Homodimerization of Ehd1 is required to induce flowering in rice. *Plant Physiology*, 170, 2159-2171. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01723>
- Denisow, B., Pogroszewska, E., & Laskowska, H. (2015). The effect of silicon on nectar and pollen production in *Hosta* Tratt. 'Krossa Regal'. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 14, 131-142.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L. A., Tablada, E. M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat versión 2020. software estadístico*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat.
- Diacono, M., & Montemurro, F. (2011). Long-term effects of organic amendments on soil fertility. In E. Lichtfouse, M. Hamelin, M. Navarrete, & P. Debaeke (Eds.), *Sustainable Agriculture Volume 2* (pp. 761-786). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_34
- Dong, L., Yang, T., Ma, L., Li, R., Feng, Y., & Li, Y. (2024). Silicon fertilizer addition can improve rice yield and lodging traits under reduced nitrogen and increased density conditions. *Agronomy*, 14, 464. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030464>
- Du, A., Tian, W., Wei, M., Yan, W., He, H., Zhou, D., ... & Ouyang, X. (2017). The DTH8-Hd1 module mediates day-length-dependent regulation of rice flowering. *Molecular Plant*, 10(7), 948-961. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.05.006>
- Durga, C. (2020). Silicon nutrition in rice. *Research Today*, 2(7), 565-566.
- Eboibi, O., Akpokodje, O. I., Nyorere, O., Oghenerukevwe, P., & Uguru, H. (2021). Effect of pre-harvest applications of organic manure and calcium chloride on the storability of tomato fruits. *Annals of Agricultural Sciences*, 66(2), 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.aas.2021.10.001>
- Fite, T., Tefera, T., Negeri, M., Damte, T., & Sori, W. (2019). Evaluation of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Bacillus thuringiensis* for the management of *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory and field conditions. *Biocontrol Science and Technology*, 30, 278-295. <https://doi.org/10.1080/09583157.2019.1707481>
- Fu, J. M., & Liu, B. (2020a). Exogenous Cry1Ab/c protein recruits' different endogenous proteins for its function in plant growth and development. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 685. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00685>
- Fu, J. M., & Liu, B. (2020b). Enhanced yield performance of transgenic cry1C rice in saline-alkaline soil. *GM Crops & Food*, 11, 97-112. <https://doi.org/10.1080/21645698.2019.1709383>
- Fu, J., Song, X., Liu, B., Shi, Y., Shen, W., Fang, Z., & Zhang, L. (2018). Fitness cost of transgenic cry1Ab/c rice under saline-alkaline soil condition. *Frontiers in plant science*, 9, 1552. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01552>
- Fu, J., Liu, G., & Liu, B. (2021). Foreign Cry1Ab/c delays flowering in insect-resistant transgenic rice via interaction with Hd3a florigen. *Frontiers in Plant Science*, 12, 608721. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.608721>
- Ghaffari, H., Tadayon, M. R., Bahador, M., & Razmjoo, J. (2022). Biochemical and yield response of sugar beet to drought stress and foliar application of vermicompost tea. *Plant Stress*, 5, 100087. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100087>
- Hafez, E. M., Osman, H. S., Gowayed, S. M., Okasha, S. A., Omara, A. E. D., Sami, R., ... & Abd El-Razek, U. A. (2021). Minimizing the adversely impacts of water deficit and soil salinity on maize growth and productivity in response to the application of plant growth-promoting rhizobacteria and silica nanoparticles. *Agronomy*, 11(4), 676. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040676>
- Hamad, H. S., Bleih, E. M., Gewaily, E. E., Abou Elataa, A. E., El Sherbiny, H. A., Abdelhameid, N. M., & Rehan, M. (2022). Cyanobacteria Application Ameliorates Floral Traits and Outcrossing Rate in Diverse Rice Cytoplasmic Male Sterile Lines. *Plants*, 11(24), 3411. <https://doi.org/10.3390/plants11243411>

- Ibrahim, H. A. K. (2019). Effect of foliar application of compost water extract, humic acid, EDTA, and micronutrients on the growth of fenugreek plants under sandy soil condition. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(12), 7799-7804. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02311-9>
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2021). *Anuario meteorológico del Cantón Mocache*. Mocache, Los Ríos, Ecuador: INAMHI.
- Jiang, W. J., Peng, Y. F., Ye, J. Y., Wen, Y. Y., Liu, G. X., & Xie, J. Q. (2019). Effects of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* on the mortality and immune response of *Locusta migratoria*. *Insects*, 11, 36. <https://doi.org/10.3390/insects11010036>
- Leal, L. D. S. G., Pessoa, L. G. M., de Oliveira, J. P., Santos, N. A., Silva, L. F. D. S., Júnior, G. B., ... & de Souza, E. S. (2020). Do applications of soil conditioner mixtures improve the salt extraction ability of *Atriplex nummularia* at early growth stage?. *International Journal of Phytoremediation*, 22(5), 482-489. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1678109>
- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., & Song, A. (2015). Silicon-mediated tolerance to drought and low-temperature stress. In *Silicon in Agriculture* (pp. 143-159). Dordrecht, The Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9978-2_7
- Liu, G., Ouyang, X., Li, Z., Fu, Y., & Shen, H. (2022). Seaweed oligosaccharide synergistic silicate improves the resistance of rice plants to lodging stress under high nitrogen level. *Agronomy*, 12(8), 1750. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081750>
- Liu, W., Yin, T., Zhao, Y., Wang, X., Wang, K., Shen, Y., ... & Tang, S. (2021). Effects of high temperature on rice grain development and quality formation based on proteomics comparative analysis under field warming. *Frontiers in Plant Science*, 12, 746180. <https://doi.org/10.22541/au.159604015.51390206>
- Llerena-Ramos, L., Reyes-Pérez, J., Álvarez-Sánchez, A., & Pincay-Ganchoso, R. (2021). Respuesta agronómica del cultivo del arroz a la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Centro Agrícola*, 48(4), 5-10.
- Ma, J. F., & Yamaji, N. (2015). A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends in Plant Science*, 20, 435-442. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>
- Mahmoud, E., Ibrahim, M., Ali, N., & Ali, H. (2020). Effect of biochar and compost amendments on soil biochemical properties and dry weight of canola plant grown in soil contaminated with heavy metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51, 1561-1571. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1763395>
- Majeed, A., Muhammad, Z., Islam, S., Ullah, Z., & Ullah, R. (2017). Cyanobacterial application as bio-fertilizers in rice fields: role in growth promotion and crop productivity. *PSM Microbiology*, 2(2), 47-50.
- Morales-Corts, M. R., Pérez-Sánchez, R., & Gómez-Sánchez, M. Á. (2018). Efficiency of garden waste compost teas on tomato growth and its suppressiveness against soilborne pathogens. *Scientia Agrícola*, 75(5), 400-409. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0439>
- Moridi, A., Zarei, M., Moosavi, A. A., & Ronaghi, A. (2019). Influence of PGPR-enriched liquid organic fertilizers on the growth and nutrients uptake of maize under drought condition in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 42(20), 2745-2756. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1658776>
- Omara, A. E., Hadifa, A., & Ali, D. F. (2022a). The Integration Efficacy between Beneficial Bacteria and Compost Tea on Soil Biological Activities, Growth and Yield of Rice Under Drought Stress Conditions. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 13(4), 39-49. <https://doi.org/10.21608/jacb.2022.138880.1025>
- Omara, A. E. D., Hafez, E. M., Osman, H. S., Rashwan, E., El-Said, M. A., Alharbi, K., ... & Gowayed, S. M. (2022b). Collaborative impact of compost and beneficial rhizobacteria on soil properties, physiological attributes, and productivity of wheat subjected to deficit irrigation in salt affected soil. *Plants*, 11(7), 877. <https://doi.org/10.3390/plants11070877>
- Osman, H. S., Rady, A. M. S., Awadalla, A., Omara, A. E.-D., & Hafez, E. M. (2021). Improving the antioxidants system, growth, and sugar beet quality subjected to long-term osmotic stress by phosphate solubilizing bacteria and compost tea. *International Journal of Plant Production*, 16, 119-135. <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00176-y>
- Pang, Z., Zhao, Y., Xu, P., & Yu, D. (2020). Microbial diversity of upland rice roots and their influence on rice growth and drought tolerance. *Microorganisms*, 8(9), 1329. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091329>
- Pathak, J., Rajneesh, Maurya, P. K., Singh, S. P., Haeder, D. P., & Sinha, R. P. (2018). Cyanobacterial farming for environment friendly sustainable agriculture practices: innovations and perspectives. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00007>
- Peng, G., Xie, J., Guo, R., Keyhani, N., Zeng, D., Yang, P., & Xia, Y. (2021). Long-term field evaluation and large-scale application of a *Metarhizium anisopliae* strain for controlling major rice pests. *Journal of Pest Science*, 94, 969-980. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01313-8>
- R Core Team (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Ranawake, A. L., Amarasinghe, U. G. S., Hewage, M. J., & Pradeepika, N. G. J. (2014). Effect of days to flowering on plant height and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Plant & Soil Science*, 3(9), 1143-1152. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2014/11421>
- Ruilova-Cueva, M., Cobos-Mora, F., & Gómez-Villalba, J. (2022). Manejo en el cultivo del arroz. Ecuador: Editorial Universidad Técnica de Babahoyo. ISBN: 978-9942-606-08-2
- Sadegh-Zadeh, F., Tolekolai, S. F., Bahmanyar, M. A., & Emadi, M. (2018). Application of biochar and compost for enhancement of rice (*Oryza sativa* L.) grain yield in calcareous sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49, 552-566. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1431272>
- Sanwong, P., Sanitchon, J., Dongsansuk, A., & Jothityangkoon, D. (2023). High temperature alters phenology, seed development, and yield in three rice varieties. *Plants*, 12, 666. <https://doi.org/10.3390/plants12030666>
- Tuncer, C., Kushiye, R., Erper, I., Oguz-Ozdemir, I., & Saruhan, I. (2019). Efficacy of native isolates of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against the invasive ambrosia beetle, *Xylosandrus germanus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29, 28. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0132-x>
- Valle-Ramírez, S. B., Torres-Gutiérrez, R., Caicedo-Quinche, W. O., Abril-Saltos, R. V., & Sucoshañay-Villalba, D. J. (2020). Aislamiento y caracterización de *Metarhizium* spp. de cultivos de caña de azúcar y su patogenicidad contra *Mahanarva andigena* (Hemiptera: Cercopidae). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1), e2361. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2361
- Van Heerden, S. G., & Hardie, A. G. (2020). Effect of vermicompost tea on rooibos (*Aspalathus linearis*) growth and rhizosphere microbial diversity under field conditions. *South African Journal of Plant and Soil*, 37(1), 71-78. <https://doi.org/10.1080/02571862.2019.1650206>
- Vicentini, G., Biancucci, M., Miner, L., Chirivì, D., Giaume, F., Miao, Y., ... & Fornara, F. (2023). Environmental control of rice flowering time. *Plant communications*, 4(5), 100610. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100610>
- Wang, M., Wang, R., Mur, L. A. J., Ruan, J., Shen, Q., & Guo, S. (2021). Functions of silicon in plant drought stress responses. *Horticulture Research*, 8, 254. <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00681-1>
- Wu, C. Y., Chen, D., Luo, H. W., Yao, Y. M., Wang, Z. W., Tsutomu, M., & Tian, X. H. (2013). Effects of exogenous silicon on the pollination and fertility characteristics of hybrid rice under heat stress during anthesis. *Journal of Applied Ecology*, 24, 3113-3122.

- Wu, Y., Li, Y., Zhang, Y., Bi, Y., & Sun, Z. (2018). Responses of saline soil properties and cotton growth to different organic amendments. *Pedosphere*, 28, 521-529. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60464-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60464-8)
- Ye, T., Li, Y., Zhang, J., Hou, W., Zhou, W., Lu, J., ... & Li, X. (2019). Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization affects the flowering time of rice (*Oryza sativa* L.). *Global Ecology and Conservation*, 20, e00753. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00753>
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of Rice Crop Science*. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute.
- Youssif, N. E. E., Osman, H. S. M., Salama, Y. A. M., & Zaghlool, S. A. M. (2018). Effect of rice straw and applications of potassium silicate, potassium humate, and seaweed extract on growth and some macronutrients of sweet pepper plants under irrigation deficit. *Arab University Journal of Agricultural Sciences*, 26, 755-773. <https://doi.org/10.21608/ajs.2018.16008>
- Zhang, H., Tan, S. N., Wong, W. S., Ng, C. Y. L., Teo, C. H., Ge, L., ... & Yong, J. W. H. (2014). Mass spectrometric evidence for the occurrence of plant growth promoting cytokinins in vermicompost tea. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 401-403. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0846-y>
- Zhang, S., Zhang, Y., Li, K., Yan, M., Zhang, J., Yu, M., ... & Xu, G. (2021). Nitrogen mediates flowering time and nitrogen use efficiency via floral regulators in rice. *Current Biology*, 31(4), 671-683. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.095>
- Zheng, H., Wang, X., Li, Y., Huang, G., Tang, Q., & Tang, J. (2018). Contributions of photosynthetic organs to the seed yield of hybrid rice: The effects of gibberellin application examined by carbon isotope technology. *Seed Science and Technology*, 46, 533-546. <https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.3.10>