



INCIDENCE AND SEVERITY OF DAMAGE BY FUNGI IN RICE LINES SUBJECTED TO DOSES OF FERTILIZATION †

[INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL DAÑO POR HONGOS EN LÍNEAS DE ARROZ SOMETIDAS A DOSIS DE FERTILIZACIÓN]

A. Martínez-Bautista¹, E. Osorio-Hernández^{1*}, J. Patishtan²,
S. de los Santos Villalobos³ and E. J. Barrios-Gómez⁴

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias-Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario, Campus, Cd. Victoria, Tamaulipas, CP. 87149, México. Email: a2213018004@alumnos.uat.edu.mx, *eosorio@docentes.uat.edu.mx

²Campo Experimental Las Huastecas INIFAP, km 55, Tampico-Mante, CP. 89610, Tamaulipas, México. Email: patishtan.juan@inifap.gob.mx

³Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818 Sur, Col. Centro, Ciudad Obregón, Sonora, C.P. 85000, México. Email: dlsantosv@gmail.com

⁴Campo Experimental Zacatepec, CIRCE-INIFAP, Km. 0.5 Carretera Zacatepec, Galeana – Cautla S/N, Centro, Zacatepec, Moleros, CP. 62780, México. Email: barrios.edwin@inifap.gob.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background: In Mexico, rice crop production is limited by phytopathogenic fungi that cause diseases, some of which increase their incidence and severity when conditions such as high humidity and nutrient deficiency or excess occur.

Objective: Determine the incidence and severity of the damage caused by phytopathogenic fungi in rice lines subjected to conditions of 100 % and 10 % nitrogen and phosphorous fertilization. **Methodology:** The experiment was carried out in the spring-summer 2021 cycle, at the Ébano-INIFAP Experimental Site, 136 rice lines were used and two treatments (100 % and 10 % nitrogenous and phosphorous chemical fertilization), were morphologically identified. phytopathogenic fungi and the incidence, severity, plant height and fresh biomass were measured. **Results:** Higher incidence and severity (27.5 % and <4 % respectively) were obtained in the rice lines subjected to the 10 % nitrogenous and phosphorous fertilization treatment. In both treatments Chiclayo 61 was identified as tolerant to damage from *Alternaria* sp., *Curvularia geniculata* and *Fusarium equiseti*, presenting incidence and severity of symptoms between 3.3 to 36.7 % and <1.5 %, respectively. On the other hand, plant height and fresh biomass showed higher values in the treatment with higher fertilization. **Implications:** High temperature and precipitation and nutritional deficiency increase damage by phytopathogenic fungi. **Conclusion:** The incidence and severity of the damage caused by *Alternaria* sp., *Curvularia geniculata* and *Fusarium equiseti*, in the crop increases when there are conditions of nutritional deficiency, in addition, nutrient-deficient plants have lower height and fresh biomass.

Key words: *Alternaria*; *Fusarium*; *Curvularia*; nitrogen; *Oryza sativa*; severity.

RESUMEN

Antecedentes: En México, la producción del cultivo de arroz es limitada por hongos fitopatógenos causantes de enfermedades, algunos de ellos aumentan su incidencia y severidad al presentarse condiciones como la alta humedad y la deficiencia o exceso de nutrientes. **Objetivo:** Determinar la incidencia y severidad del daño ocasionado por hongos fitopatógenos en líneas de arroz sometidas a condiciones de 100 % y 10 % de fertilización nitrogenada y fosforada. **Metodología:** El experimento se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano 2021, en el Sitio Experimental Ébano-INIFAP, se usaron 136 líneas de arroz y dos tratamientos (100 % y 10 % de fertilización química nitrogenada y fosforada), se identificaron morfológicamente hongos fitopatógenos y se midió la incidencia, severidad, altura de planta y biomasa fresca. **Resultados:** Se obtuvo mayor incidencia y severidad (27.5 % y <4 % respectivamente), en las líneas de arroz sometidas al tratamiento 10 % de fertilización nitrogenada y fosforada. En ambos tratamientos Chiclayo 61 fue identificada como tolerante al daño de *Alternaria* sp., *Curvularia geniculata* y *Fusarium equiseti*, al

† Submitted March 21, 2023 – Accepted August 18, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4842>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Aracely Martínez-Bautista: <https://orcid.org/0000-0001-7223-0065>; Eduardo Osorio-Hernández: <https://orcid.org/0000-0002-9248-8167>; Juan Patishtan: <https://orcid.org/0000-0002-5632-8561>; Sergio de los Santos Villalobos: <https://orcid.org/0000-0003-2234-7147>; Edwin Javier Barrios-Gómez: <https://orcid.org/0000-0002-1765-5981>

presentar incidencia y severidad de síntomas entre 3.3 a 36.7 % y <1.5 %, respectivamente. Por otra parte, la altura de planta y biomasa fresca mostraron valores más elevados en el tratamiento con mayor fertilización. **Implicaciones:** Las temperatura y precipitación elevada y la deficiencia nutricional aumentan el daño por hongos fitopatógenos. **Conclusión:** La incidencia y severidad del daño ocasionado por *Alternaria* sp., *Curvularia geniculata* y *Fusarium equiseti*, en el cultivo incrementa cuando se presentan condiciones de deficiencia nutricional, además las plantas deficientes de nutrientes presentan menor altura y biomasa fresca.

Palabras claves: *Alternaria* sp; *Curvularia geniculata*; *Fusarium equiseti*; nitrógeno; *Oryza sativa*; severidad.

INTRODUCCIÓN

El género *Oryza* se originó aproximadamente hace 130 millones de años, del cual destacan dos especies cultivadas, *Oryza sativa* L. (1753) y *Oryza glaberrima* Steud (1853) (Dogara y Jumare, 2014). La especie *O. sativa* presenta mayor importancia económica, al cultivarse en climas tropicales y templados en 118 países del mundo. El arroz, a nivel mundial, tiene una producción alrededor de 756 millones de toneladas, donde, países como China, India, Indonesia y Bangladesh sobresalen como principales productores de este cereal (FAOSTAT, 2023). México, en el año 2020, produjo 257,041 t, con un rendimiento de 6.38 t ha⁻¹ (SIAP, 2023). Sin embargo, aún con la producción de cereales como el arroz, la seguridad alimentaria y el hambre son retos que el país debe enfrentar (Ramírez-Juárez, 2022). Por otra parte, a pesar de que este cultivo contribuye a la ingesta alimentaria de las personas, al desarrollo agroindustrial y comercial, el cultivo presenta problemas de escasez de inversión para la investigación continua (Mendoza et al., 2019).

En el cultivo de arroz, se emplean principalmente nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio, ya que estos nutrientes son necesarios para el crecimiento de la planta (Kai et al., 2020). Los principales fertilizantes químicos que se emplean son: urea, sulfato de amonio, fosfato monoamónico, fosfato monoamónico + Zn + S, superfosfato de calcio triple, sulfato de potasio, cloruro de potasio, muriato de potasio y sulfato de potasio con magnesio (Ruiz et al., 2023; Caldas et al., 2020; López-Hernández et al., 2018). Por otra parte, se ha reportado que la incidencia y severidad de enfermedades como manchado del grano y quema del arroz se incrementan al presentarse un desbalance de nitrógeno y fósforo (Sieiro et al., 2020). Entre los géneros de hongos que causan el manchado del grano se encuentran *Alternaria*, *Curvularia*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* (Silva-Lobo et al., 2011; Schurt et al., 2015). Mientras que, el agente causal de la quema del arroz es *Pyricularia oryzae* (Longya et al., 2020).

Estos hongos provocan daños en hojas, tallos, panículas y granos del cultivo (Martínez et al., 2022), por ejemplo, *Fusarium* destruye las células de algunos genotipos, mientras que, en otros se encuentra en menor cantidad, sin dañar significativamente a nivel celular (Matić et al., 2016). En el momento que este hongo penetra las raíces produce micelio y micro

conidios que se extienden mediante los vasos del xilema y es capaz de inhibir el desarrollo de la planta, como consecuencia del colapso del tejido vascular, limitando el transporte de nutrientes lo que, provoca la muerte de la planta (Agrios, 2005).

Así, con el propósito de incrementar la productividad de este cultivo, se han desarrollado investigaciones para desarrollar y seleccionar genotipos resistentes a condiciones bióticas tales como plagas, hongos, bacterias, virus y nematodos. También se ha investigado a nivel morfológico, fisiológico y molecular la tolerancia a temperaturas altas (Wei et al., 2021), sequía, salinidad y deficiencia a nutrientes en arroz (Patishtan et al., 2018; Hartley et al., 2019). Más aún, se ha investigado la arquitectura de planta, rendimiento y la calidad nutricional (Yano et al., 2019; Verma et al., 2022). Sin embargo, se ha investigado en pequeños germoplasmas la resistencia a fitopatógenos. Por ejemplo, Pandey et al. (2020) identificaron el porcentaje de infección de *Fusarium* en veinte variedades de arroz, mientras que, Alam et al. (2014) midieron la frecuencia de diferentes hongos aislados de cinco variedades de arroz, en donde *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp., mostraron mayor frecuencia. Terensan et al. (2022), reportaron daños en hojas, con incidencia de más del 55% de plantas infectadas por la enfermedad mancha marrón ocasionada por *Curvularia*, causando pérdidas económicas del ≤80 %. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la incidencia y severidad del daño ocasionado por hongos fitopatógenos en líneas de arroz sometidas a condiciones de 100 % y 10 % de fertilización nitrogenada y fosforada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento y material genético

El experimento se llevó a cabo durante el ciclo primavera-verano del año 2021, en el Sitio Experimental Ébano perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Ébano, San Luis Potosí (22°09'57.8 N, 98°28'07.5 O) este lugar presenta clima cálido subhúmedo y suelo con textura arcillosa. Con el propósito de generar nuevos genotipos resilientes a hongos fitopatógenos, se evaluaron 136 líneas de arroz pertenecientes al

Programa Fondo Latinoamericano del Arroz de Riego (FLAR).

Establecimiento de tratamientos

La ubicación del experimento fue seleccionada por el tipo de suelo (arcilloso) y disponibilidad de agua, la preparación del suelo se llevó a cabo dos meses antes de la siembra, inició con el desmenuzamiento de malezas con el fin de facilitar el barbecho, el cual tuvo una profundidad de 25 cm mediante un arado de discos, continuó con dos pases de rastra de discos, de esta manera cortar, desterronar, pulverizar o mullir el suelo y así obtener una superficie uniforme, se formaron surcos con 30 cm de separación y 4 cm de profundidad.

Para evaluar la relación entre la deficiencia nutricional y la severidad de enfermedades causadas por fitopatógenos en el cultivo. Se establecieron dos tratamientos, uno con una dosis del 100 % de fertilización química fosforada y nitrogenada (180-40-00 NPK) y otra el 10 % de la dosis (denominados 100%-FQ y 10%-FQ, en adelante), cada tratamiento tuvo una superficie de 1,600 m² de parcela útil, divididos en 4 bloques y en cada bloque se sembraron 40 líneas de arroz separadas por 60 cm de distancia para evitar la contaminación entre semillas, cada una conformada por dos surcos de 5 m de largo, separados por 30 cm.

Paquete tecnológico del INIFAP para el cultivo de arroz

El paquete tecnológico empleado en esta investigación fue el propuesto por Aguirre *et al.* (2013). La siembra se llevó a cabo en la cuarta semana del mes de septiembre del año 2021, se utilizó 60 g de semilla para cada línea de arroz para una densidad de siembra de 350 plantas por m². Esta actividad fue de forma manual se distribuyó la semilla uniformemente en los surcos marcados para cada línea de arroz. Después de la siembra se aplicó un riego de germinación (lamina de riego de 30 cm) y riegos de auxilio (lamina de riego de 32 cm) con intervalos de 10 días durante la etapa vegetativa, los riegos solo se suspendieron cuando se aplicó la fertilización. A los 85 días iniciaron los riegos de inundación con intervalos de 10 días y una lámina de riego de 27 cm, estos riegos continuaron hasta que las panículas presentaron granos maduros.

El cultivo de arroz requiere de fósforo durante la etapa temprana, ya que este favorece en la germinación y formación radicular por lo que, en pre-siembra, se aplicó 77 kg. ha⁻¹ de MAP-convencional granulado (11-52-00 NPK). Para incrementar el número de tallos y panículas en fase vegetativa y reproductiva, se aplicó 186.5 kg. ha⁻¹ de Urea granulado (46-00-00 NPK) a los

30 y 60 días después de la siembra (DDS), respectivamente.

Identificación morfológica y molecular de hongos fitopatógenos

Para identificar hongos fitopatógenos potenciales que afectan el cultivo de siembra a cosecha, se colectaron hojas con presencia de manchas color café con forma circular u ovalada y fueron llevados al laboratorio de Microbiología de la Central Integral de Laboratorios, ubicado en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, las muestras fueron guardadas en bolsas de papel previamente etiquetadas y transportadas en una hielera (4 °C) para su conservación. Para el aislamiento de los fitopatógenos se utilizó la metodología de Bastida *et al.* (2019), con algunas modificaciones, dentro de una campana de flujo laminar, las hojas fueron cortadas del tamaño de 0.5 cm x 0.5 cm (el corte se hizo entre tejido sano y enfermo), desinfectadas con hipoclorito de sodio al 3 % por 1 min, enjuagadas con agua destilada estéril y secadas con papel secante estéril. Posteriormente, las muestras fueron colocadas en cajas Petri con Agar Dextrosa y Papa (PDA) y se incubaron a 25 ±1 °C, por tres días.

Al observar crecimiento de micelio en las cajas Petri (a los tres días), se procedió a purificar los hongos, colocando micelio en otra caja Petri con PDA. Los hongos desarrollados y purificados fueron identificados morfológicamente mediante las claves taxonómicas propuestas por Barnett y Hunter (1998) a nivel género, se observó el color del micelio, forma de los conidióforos, conidios, macro y micro conidios.

Con el fin de identificar a nivel especie a los hongos asilados, se realizó una identificación molecular utilizando el kit DNeasy® mericon Food Kit (50) y se siguió la metodología propuesta por el fabricante con algunas modificaciones. Para la extracción del ADN, se agregó 3 mL de Food Lysis Buffer a cada caja Petri, las cuales contenían a los hongos de 3 días de crecimiento, con la ayuda de una pipeta en un tubo eppendorf (3 mL) se colocó el micelio extraído de cada hongo y para homogenizar la solución esta se zonificó tres veces por 10 s. Posteriormente, a cada tubo se le agregó 5 ul de Proteinase K solution y se incubaron a 55 °C por 30 min. Para luego añadir cloroformo frío y se centrifugó a 12000 revoluciones por minuto (rpm) durante cinco min, de esta manera separar el ADN de impurezas. Una vez separado el ADN, la solución acusa fue extraída y colocada en otro tubo eppendorf (3 mL) junto con isopropanol al 0.6 de volumen y 30 ul de acetato de sodio. La mezcla obtenida de cada hongo se dejó reposar por 24 h, para después centrifugar a 16200 rpm a 4 °C por 20 min, como resultado se obtuvo una pastilla, la cual fue re

suspendida en 50 ul de TEIX y fue examinada mediante electroforesis en geles de agarosa al 1%.

Una vez comprobado que se extrajo correctamente el ADN de todos los hongos aislados, se realizó una amplificación de este, utilizando cebadores universales de la región del espaciador transcrito interno (ITS), mediante una reacción en cadena de la polimerasa (PCR) por lo que, se utilizó un termociclador con las siguientes condiciones: desnaturalización del ADN a 95 °C durante 1 min seguido de 25 ciclos de 1 min a 94 °C, 1 min a 50.3 °C y 1 min a 72 °C, y una extensión de 5 min a 72 °C. Los productos de PCR se visualizaron en gel de agarosa al 1% con tinción de bromuro de etidio, bajo luz UV. El ADN obtenido se envió a secuenciar a la compañía PSOMAGEN, el análisis de las secuencias se analizó en el banco de genes de NCBI con ayuda del programa BLAST. La identificación molecular se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila

Postulados de Koch

Una vez identificados los hongos se llevó a cabo los postulados de Koch para confirmar que los síntomas observados en las hojas fueron causados por los hongos aislados, de acuerdo con la metodología propuesta por Aguilar-Ancota *et al.* (2017) con algunas modificaciones, en macetas de 15 cm de diámetro y con sustrato previamente esterilizado en una autoclave a 120 °C y 20 PSI por 40 min, fueron colocadas tres semillas de arroz. En total se utilizaron seis repeticiones para cada hongo fitopatógeno aislado y un testigo plantas no inoculadas. El inóculo se preparó colocando un disco de micelio de 5 mm de diámetro en un tubo de ensayo con 10 mL de agua esterilizada estéril, el cual fue agitado durante 10 min. El inóculo fue asperjado en las plántulas con 3 a 4 hojas (15 días de edad), a cada maceta se le colocó una bolsa de poli papel que cumplió la función de generar condiciones de cámara humedad. Después de la evaluación se volvió a aislar los hongos que se encontraron en las hojas y los tallos de las plántulas inoculadas.

Incidencia de síntomas causados por hongos fitopatógenos

Con el propósito de cuantificar la incidencia en plantas se revisaron los tallos y hojas de 30 plantas divididas en tres repeticiones de 10 plantas cada una. Estas plantas fueron seleccionadas al azar, sin embargo, se descartaron aquellas que se encontraban en los extremos de los surcos y para reducir el efecto de las labores agronómicas. La incidencia se expresó en porcentaje, mediante la siguiente fórmula: $INC = (PE/TP) * 100$, donde incidencia (INC) es igual al plantas enfermas (PE) entre el total de plantas (PT) observadas multiplicado por cien, la metodología

empleada para esta variable fue la usada por Furcal-Berigüete y Herrera-Barrantes (2013).

Severidad de síntomas causados por hongos fitopatógenos

Para observar el comportamiento de los síntomas durante las fases fenológicas del cultivo y el efecto de la aplicación de la fertilización, se realizaron colectas de hojas de tres plantas en cada línea de arroz a los 30, 60 y 90 DDS. La severidad de los síntomas se obtuvo siguiendo la metodología empleada por Alheeti *et al.* (2021) con algunas modificaciones al colocar nueve hojas sobre un Escáner Epson Perfection V39, obtenidas de tres plantas al azar, de cada planta se extrajo tres hojas (una hoja del estrato inferior, una hoja del estrato medio y una hoja del estrato superior), junto con una unidad de medida en cm. Posteriormente, las imágenes digitales se cargaron al software ImageJ V 1.8.0 en el cual se midió el área foliar total (AFT) y el área foliar dañada (AFD) por síntomas de hongos fitopatógenos. Con estos datos, se utilizaron para obtener el porcentaje del área dañada por hoja (% ADH), lo cual fue necesario para obtener el porcentaje de la severidad; $\% S = \% ADH/NHE$, donde NHE es igual al número de hojas evaluadas.

Biomasa fresca y altura de planta

Se midió la altura de nueve plantas al azar desde la base del tallo hasta la base de hoja bandera y se pesó la parte aérea de las plantas en medio metro lineal para evaluar la biomasa fresca. Cabe mencionar que estos muestreos fueron en la misma fecha que el muestreo de severidad de síntomas causados por hongos fitopatógenos.

Análisis estadísticos

Los datos fueron sometidos en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Cuando hubo diferencia significativa entre genotipos, concentraciones de FQ, los datos se sometieron a la prueba de Tukey ($P=0.05$). En este sentido, con el propósito de identificar el comportamiento de los síntomas causados por los fitopatógenos fueron seleccionadas veinte líneas de arroz en condiciones de 100%-FQ y 10%-FQ con menor incidencia y severidad en la fase reproductiva (90 DDS). Los datos fueron analizados mediante el software statistical analysis system SAS 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación morfológica y molecular de los hongos fitopatógenos

Durante el ciclo vegetativo del cultivo, se identificaron manchas ovaladas y/o circulares de color café con

bordes amarillos, así como hojas con coloración amarillo y anaranjado (Figura 1). Estos síntomas fueron similares a lo reportado por Bordin *et al.* (2016a) quienes describieron estos síntomas como responsables de enfermedades foliares como añublo del arroz, mancha marrón y escaldadura causadas por *Pyricularia grisea* (Cooke) Saccardo, *Bipolaris oryzae* (Breda de Hann) Shoemaker y *Gerlachia oryzae* (Hashioka & Yokogi) W. Gams, respectivamente. Por otro lado, Agbowuro *et al.* (2020) relacionó estos síntomas a la enfermedad añublo del arroz (*Pyricularia grisea*). Otros autores asociaron a la mancha foliar causado por *Curvularia* como responsable de provocar manchas marrones distribuidas uniformemente en las hojas con tamaño de 1-10 mm (Majeed *et al.*, 2015).

Los fitopatógenos que causaron síntomas en las hojas fueron identificados como: *Alternaria* sp., *Fusarium equiseti* y *Curvularia geniculata*. En este sentido, *Alternaria* sp. (Figura 2A-B) presentó micelio gris oscuro con conidios ovoides septados con tres a cinco septos transversales y cero a tres septos longitudinales, de forma elíptica, en cadena simple, en un rango de tamaño de 13.2 a 40.2 x 9.0 a 17.1 μm (longitud \times ancho) (Xi *et al.*, 2022; Quintana *et al.*, 2020). Las especies de este género ocasionan manchas en hojas y pudrición de raíces en plántulas (Méndez y Reyes, 2009; Mew y González, 2002). Sandoval-Martínez *et al.* (2022) reportaron que este género reduce la calidad y disminuye el peso del grano, además de afectar la salud humana por las sustancias tóxicas que producen, como son las micotoxinas alternariol (AOH), éter monometílico del alternariol (AME), altenueno (ALT), ácido tenuazónico (TeA) y altertoxinas (ATX-I y ATX-II) (Nguyen *et al.*, 2018).

El fitopatógeno *Fusarium equiseti* (Figura 2C-D) presentó micelio algodonoso de color blanco y

conidios ligeramente curvados de 2 a 3 celdas, macroconidios de tamaño de 17.5 x 3.7 a 50 x 5 μm y microconidios de 5 x 3.7 a 7.5 x 3.7 μm (Bashyal *et al.*, 2016). Resultados de investigación indicaron que especies de *Fusarium* causan pudrición de los nudos de tallos, marchitez de panículas y eleva el número de granos vanos (Silva-Lobo *et al.*, 2011). En otro estudio se reportó que *Fusarium moniliforme* causa podredumbre en raíces de plántulas y esterilidad de granos (Pandey *et al.*, 2020). El fitopatógeno *Curvularia geniculata* (Figura 2E-F) mostró micelio de color marrón oscuro con abundante ramificación y conidios elipsoidales, curvados o semilunar, el tamaño de los conidios fue de 30.6 μm de longitud y 13.6 μm de anchura, los cuales se identificaron dispersos y/o colonizados con 3 a 5 septos con dimensiones promedio de 20.6 μm x 8.5 μm (Santos *et al.*, 2018). Estrada y Sandoval (2004) y Quintana *et al.* (2020) indicaron que este hongo ocasionó manchas en las hojas del cultivo de arroz con forma circular con centro grisáceo y contorno amarillo, la cuales llegaron a infectar completamente a las hojas y provocó la muerte de la planta. Los dos últimos fitopatógenos fueron identificados molecularmente, *Fusarium equiseti* con ID de taxonomía: 61235 (NCBI: txid61235) y secuencia

```
GTCCTCGGGCGGGCCGTCCCGTTTTACGGGGC
GCGGGCTGATCCGCCGAGGCAACGTATAGGT
ATGTTACAGGGGTTTGGGAGTTGTAAACTC
GGTAATGATCCCTCCGCTGGTTACCAAC y
Curvularia geniculata con ID de taxonomía: 418126
(NCBI: txid418126) y secuencia
TATCATGTGGTCCTGGAGGCGGGCGAACC CG
CCCAGGAAACAACAAGTGCGCAAAGACAA
GGGTAATAAAATACTCCAGCCTTGCCGCCTGT
TGGCGGTGCAGCCTTCATATGTTTATTGTGTA
ATGATCCCTC.
```



Figura 1. Síntomas causados por hongos fitopatógenos en hojas de la línea de arroz Chiclayo 41 a los 60 días después de siembra. A) En condiciones de 10%-FQ y B) en condiciones de 100%-FQ.

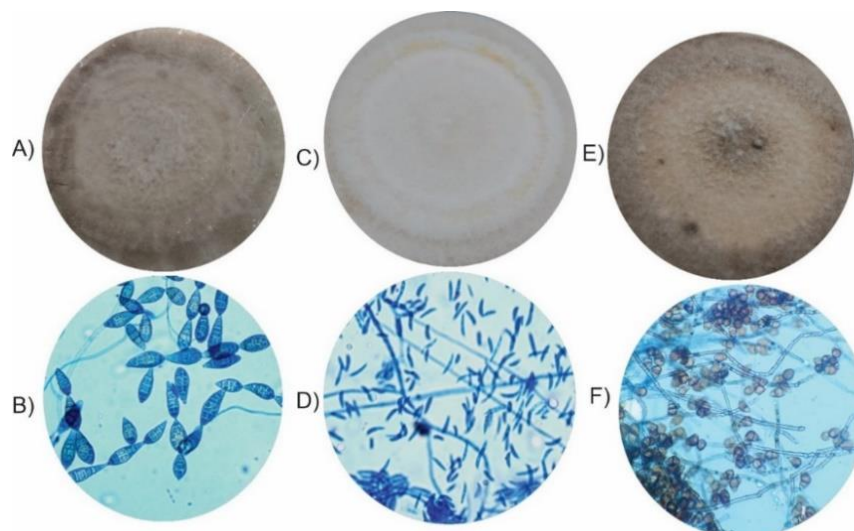


Figura 2. Identificación morfológica de hongos fitopatógenos: *Alternaria* sp. (A-B), *Fusarium equiseti* (C-D) y *Curvularia geniculata* (E-F). Crecimiento de micelio en medio de cultivo PDA y conidios vistos en microscopio óptico a 40X.

Postulados de Koch

Los resultados obtenidos indicaron que las hojas de las plantas inoculadas con *Alternaria* sp. (Figura 3A) presentaron manchas de color café que crecían conforme la planta se desarrollaba, estos síntomas son similares a lo que describieron Méndez y Reyes, (2009) y Mew y González, (2002). De igual manera, las plantas inoculadas con *Curvularia geniculata* (Figura 3B) también mostraron manchas color café y micelio en los tallos así como lo reportaron Santos *et al.* (2018). Por otra parte, las plantas inoculadas con *Fusarium equiseti* no mostraron manchas en las hojas pero sí hojas de color verde amarillento, micelio y

podrición en tallos como se observa en la Figura 3C. Diversos autores asociaron a especies de *Fusarium* como responsables de la pudrición de la vaina en el arroz, causa lesiones de color café oscuro y blanquecino en la hoja bandera que puede causar la muerte (Wulff *et al.*, 2010). Gupta *et al.* (2015) mencionaron que este género es causante de la enfermedad Bakanae o enfermedad de la pudrición del pie, las plántulas infectadas presentaron mayor altura con tallos cloróticos y hojas de color verde amarillento, la enfermedad afecta todas las partes de la planta desde la raíz, los tallos, las hojas y las panículas, las plantas que sobreviven tienen pocos macollos de mayor altura, delgados con panículas vacías (sin grano).



Figura 3. Plántulas inoculadas con *Alternaria* sp. (A), *Curvularia geniculata* (B) y *Fusarium equiseti* (C) de acuerdo con los postulados de Koch.

Incidencia de síntomas causados por hongos fitopatógenos

En cuanto a la incidencia de síntomas causados por hongos fitopatógenos (Figura 4), hubo diferencia significativa entre las dosis de fertilización (<0.0001). El 10 %-FQ mostró mayor número de plantas con síntomas (27.5 %), en comparación con el tratamiento 100 %-FQ (13.1 %). Las plantas infectadas con *Alternaria* sp. mostraron hojas con manchas café, en el caso *Curvularia geniculata* las hojas tenían manchas color café con centro grisáceo y en algunas ocasiones se observó micelio en plantas jóvenes. En cuanto a *Fusarium equiseti* las hojas no mostraron síntomas característicos de este hongo, pero algunos tallos presentaron pudrición. El hongo que mostró mayor incidencia fue *Curvularia geniculata* ya que de la mayoría de las hojas muestreadas se aisló este fitopatógeno, seguido de *Fusarium equiseti* y por último *Alternaria* sp. La incidencia registrada en esta investigación fue inferior a lo reportado por Terensan *et al.* (2022), lo cuales encontraron incidencia promedio de más del 55 % de plantas infectadas por la enfermedad mancha marrón ocasionada por *Curvularia*, causando pérdidas económicas del ≤ 80 %.

Para la comparación medias de las líneas de arroz, se tomaron del tratamiento 10 %-FQ veinte líneas de arroz con menor porcentaje de incidencia. La Tabla 1, muestra que en el tratamiento 100 %-FQ no hubo diferencia significativa entre líneas ($p=0.1$ registrándose valores del 3.3 a 33.3 %. Por otra parte, en el tratamiento 10 %-FQ si hubo diferencia significativa ($p=0.00003$) al encontrarse valores del 3.3 a 63.3 %, lo que indicó mayor número de plantas enfermas en este tratamiento. Diversos autores

registraron incidencia del 40-80 % relacionada con manchas en las hojas del cultivo de arroz causados por hongos (Liu *et al.*, 2013; Majeed *et al.*, 2016). Por otra parte, en Paraguay se reportó plantas con síntomas de fitopatógenos con incidencia del 45 % (Quintana *et al.*, 2017). Por lo que, la incidencia de registrada en las líneas de arroz expuestas al tratamiento con 10 %-FQ mostraron resultados similares a lo reportado por estos autores.

Severidad de hongos fitopatógenos en líneas de arroz

La Figura 5, muestra la severidad de hongos fitopatógenos en líneas de arroz, la precipitación y la temperatura durante el ciclo vegetativo del cultivo. Los resultados cuantificaron diferencia significativa a los 30 y 60 DDS ($p<0.0001$), el tratamiento 100 %-FQ mostró mayor porcentaje de severidad (2.3 %) mientras que, el tratamiento 10 %-FQ obtuvo 1.5 % de severidad. Después de la primera aplicación de fertilizante, la severidad fue mayor en el tratamiento 10 %-FQ (3.2 %) comparado con el tratamiento 100 %-FQ que mostró 1.4 % de severidad. Por otra parte, no se cuantificó diferencia significativa ($p=0.3$), entre condiciones de fertilización química del 100 %-FQ (4.1 %) y 10 %-FQ (4.3 %) para la severidad de hongos fitopatógenos a los 90 DDS. En septiembre y octubre, se registraron temperaturas y precipitación relativamente altas, de acuerdo con Barrios *et al.* (2016) la nubosidad y las temperaturas altas generan un ambiente favorable para el desarrollo de enfermedades fungosas. Por lo tanto, estas condiciones beneficiaron el crecimiento de los hongos durante la fase vegetativa del cultivo.

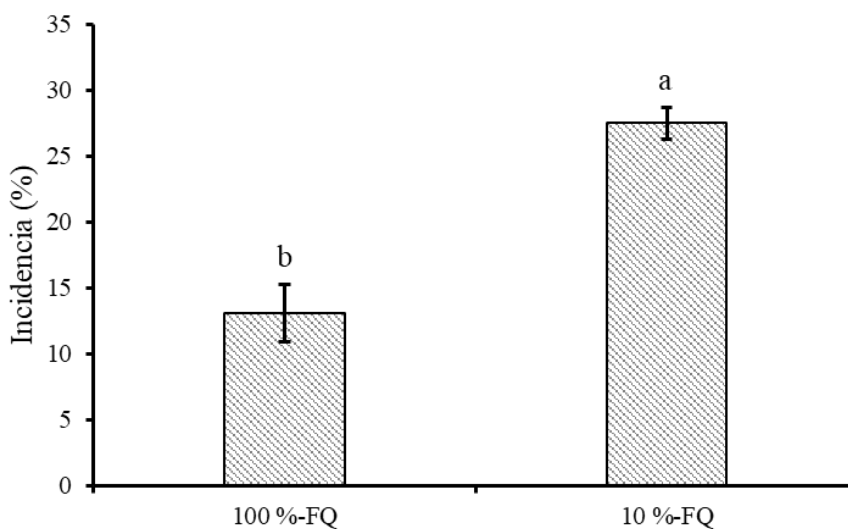


Figura 4. Incidencia de síntomas causados por hongos fitopatógenos influenciada por las dosis de fertilización (100%-FQ y 10%-FQ) en líneas de arroz a los 60 días después de la siembra. Cada barra ilustra el promedio \pm StdErr de tres repeticiones. Barras con letras diferentes muestran significancia entre tratamientos (Tukey, $P\leq 0.05$). Fertilización química nitrogenada y fosforada (FQ).

Tabla 1. Incidencia de síntomas causados por hongos fitopatógenos en 20 líneas de arroz a los 60 DDS.

Líneas de arroz	Incidencia (%)			
	100 %-FQ ± StdErr		10 %-FQ ± StdErr	
Ciat 7	13.3 ±	8.8 a	23.3 ±	8.8 Ab
Ciat 12	6.7 ±	6.7 a	40.0 ±	15.3 Ab
Ciat 26	3.3 ±	3.3 a	6.7 ±	3.3 B
Ciat 33	33.3 ±	3.3 a	30.0 ±	5.8 Ab
Chiclayo 28	23.3 ±	12.0 a	23.3 ±	3.3 Ab
Chiclayo 37	3.3 ±	3.3 a	10.0 ±	5.8 B
Chiclayo 43	3.3 ±	3.3 a	23.3 ±	3.3 Ab
Chiclayo 47	6.7 ±	6.7 a	20.0 ±	5.8 Ab
Chiclayo 52	3.3 ±	3.3 a	43.3 ±	8.8 ab
Chiclayo 56	6.7 ±	3.3 a	3.3 ±	3.3 b
Chiclayo 61	3.3 ±	3.3 a	36.7 ±	6.7 ab
Chiclayo 62	6.7 ±	3.3 a	6.7 ±	3.3 b
Chiclayo 90	16.7 ±	3.3 a	6.7 ±	3.3 ab
Chiclayo 93	20.0 ±	11.5 a	23.3 ±	3.3 ab
SR-DR 13	20.0 ±	15.3 a	46.7 ±	6.7 ab
SR 33	16.7 ±	8.8 a	26.7 ±	12.0 ab
SR 46	26.7 ±	12.0 a	30.0 ±	5.8 ab
SR 49	16.7 ±	8.8 a	33.3 ±	13.3 ab
Pacífico FL 15	30.0 ±	17.3 a	63.3 ±	20.3 a
M.t-G Norte Vietnam	3.3 ±	3.3 a	3.3 ±	3.3 b

Nota: Medias con letras iguales no difieren significativamente (Tukey, $P \leq 0.05$). Fertilización química nitrogenada y fosforada (FQ). Días después de la siembra (DDS).

Shrestha *et al.* (2020) mencionaron que los nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio intervienen en la resistencia de las plantas a patógenos, ya que el crecimiento de la planta disminuye volviéndola susceptible. De acuerdo con Acevedo *et al.* (2011) mencionaron que las enfermedades y la competencia por nutrientes como el nitrógeno y fósforo interfieren negativamente en el crecimiento y desarrollo del cultivo. El nitrógeno favorece el crecimiento y desarrollo de los cereales (Ballesteros *et al.*, 2015), el fósforo favorece la fijación biológica del nitrógeno, la calidad y el rendimiento de los cultivos, así como la

resistencia de las plantas a las enfermedades (Khan *et al.*, 2009). Por el contrario, la deficiencia de este nutriente provoca trastornos fisiológicos (Fernández, 2007). El uso del potasio durante la formación de panículas aumenta el rendimiento del grano en un 8 % a 11 % (Maschman *et al.*, 2010), al funcionar como regulador químico y fisiológico, también participa en el metabolismo y crecimiento, por el contrario, la deficiencia del potasio en la planta la vuelve vulnerable y aumenta la susceptibilidad a varias enfermedades (Hasanuzzaman *et al.*, 2018).

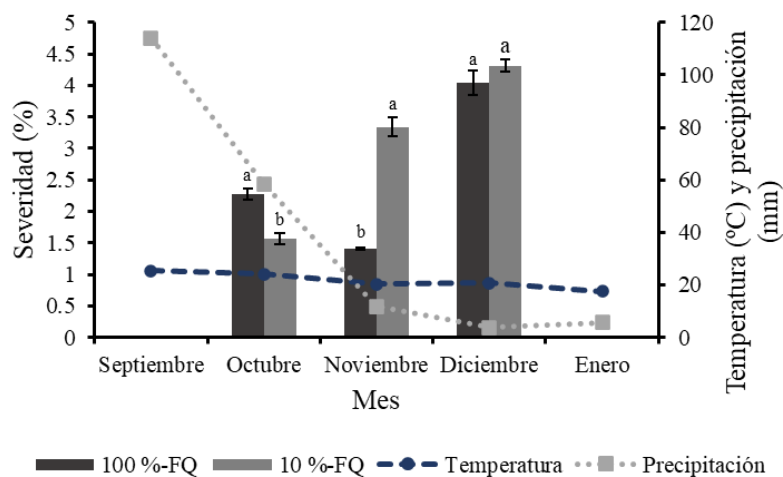


Figura 5. Severidad de síntomas causados por hongos fitopatógenos del arroz influenciada por las dosis de fertilización, precipitación y temperatura en condiciones de 100%-FQ y 10%-FQ. Cada barra ilustra el promedio \pm StdErr de tres repeticiones. Barras con letras diferentes muestran significancia entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$). Fertilización química nitrogenada y fosforada (FQ).

Con los resultados obtenidos del porcentaje de severidad a los 90 DDS veinte líneas de arroz fueron seleccionadas como resistentes al presentar <10% de severidad, de acuerdo con la escala propuesta por IRRI (2002), donde mencionaron que los genotipos con lesiones que infectaron <10% del área foliar fueron resistentes, por el contrario, los genotipos que mostraron lesiones que infectaron >10% del área foliar se consideraron susceptibles. En líneas resistentes de arroz a hongos fitopatógenos, no se cuantificó diferencia significativa ($p=0.9$) entre condiciones de 100 %-FQ. La severidad de los genotipos resistentes fue de 0.3 a 1.8 % durante el periodo de evaluación y la línea con menor severidad fue SR 46 con <5 % (Figura 6A). De igual manera, en el tratamiento con el 10 %-FQ (Figura 6B) no se encontró diferencia significativa en condiciones de 10 %-FQ ($p=0.6$), en ambos tratamientos la línea que mostró menor severidad fue Chiclayo 61 con <1.5%. Resultados similares fueron reportados por Aguilar-Anccota *et al.* (2018), los cuales identificaron síntomas de severidad como lesiones necróticas de coloración marrón oscura en panículas y tallos a una edad aproximada de 60 días, así como un incremento de los síntomas en los

muestreos posteriores. Se ha reportado que las manchas en hojas causadas por fitopatógenos pueden causar daños por encima del 50 % al disminuir la calidad del grano, existe correlación entre la severidad de las enfermedades foliares y el rendimiento de grano (Bordin *et al.*, 2016b). Otros autores encontraron severidad menor del 4 % en hojas de plantas de arroz durante la etapa vegetativa y que el grado de infección varía dependiendo de las variables utilizadas, sin embargo, la severidad puede aumentar del 4 % hasta el 28 % en la etapa reproductiva ya que la planta es más susceptible al daño por fitopatógenos al utilizar los nutrientes adquiridos para la formación de granos (Cárdenas *et al.*, 2007). Sin embargo, no hay estudios actuales sobre el cultivo de arroz relacionados a la severidad en hojas con daño de hongos fitopatógenos aun cuando todas las etapas de cultivo son importantes para mejorar los rendimientos del cultivo.

Biomasa fresca y altura de planta

Para cuantificar el efecto de la fertilización química en el crecimiento temprano, intermedio y tardío, subconjunto de datos fueron sometidos a análisis

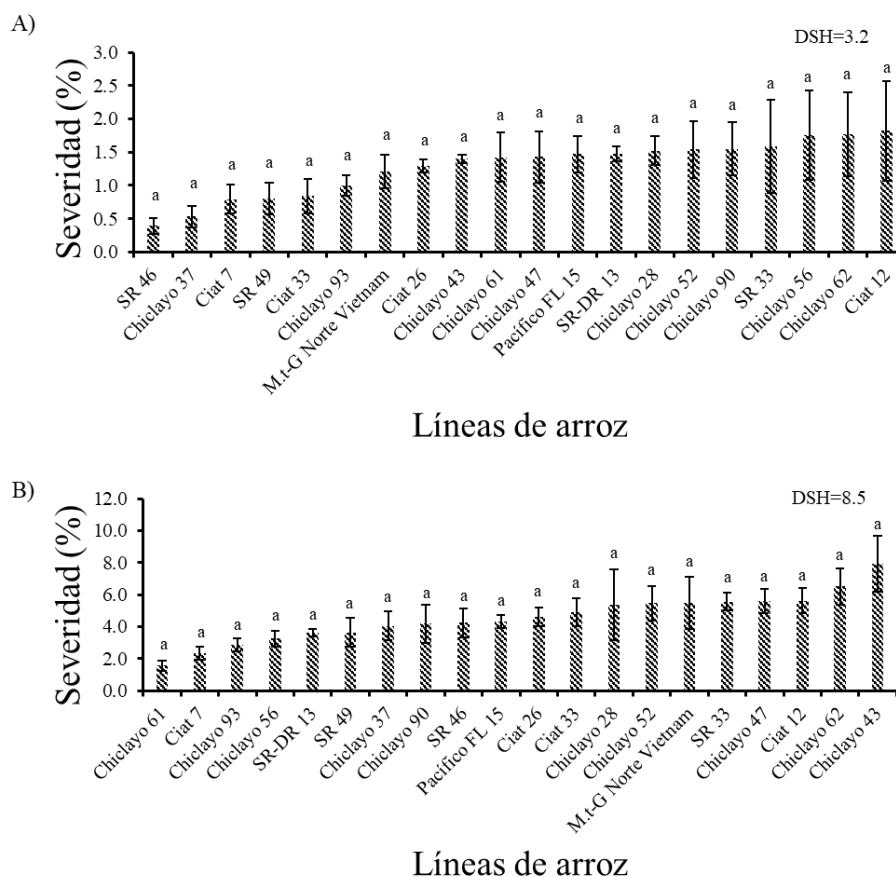


Figura 6. Severidad de síntomas causados por hongos fitopatógenos en veinte líneas de arroz: (A) líneas de arroz sometidas al 100%-FQ y (B) 10 %-FQ. NOTA: Los genotipos de arroz fueron seleccionados en condiciones de 10%-FQ a los 90 días después de siembra. Cada barra ilustra el promedio \pm StdErr de tres repeticiones. Barras con letras diferentes muestra significancia entre líneas de arroz (Tukey, $P \leq 0.05$). Fertilización química nitrogenada y fosforada (FQ). Diferencia significativa mínima (DSH).

estadísticos. Los resultados indicaron que existió diferencia significativa entre condiciones de fertilización química para la altura de planta a la base de hoja bandera a los 30 ($p=0.003$), 60 ($p<0.0001$) y 90 ($p<0.0001$) días después de la siembra. En la variable de biomasa fresca también hubo diferencia significativa entre tratamientos ($p<0.0001$) en los tres muestreos realizados (Tabla 2). La altura de planta fue afectada alrededor de 10%, se observó que la mayoría de las líneas de arroz alcanzaron su altura máxima a hoja bandera entre 70 y 90 días. Por otra parte, la biomasa de arroz fue afectada de 29 a 40 % a los 60 y 90 días después de siembra, respectivamente. Más aún, el cultivo de arroz puede acumular alrededor de 7.3 t ha⁻¹ con 10 % de fertilización recomendada del paquete tecnológico de INIFAP. Resultados similares fueron reportados por Shukla *et al.* (2015) y Jana *et al.* (2017), los cuales registraron mayor altura de planta al aumentar los niveles de fertilización. Investigaciones han demostrado que el nitrógeno potencializa el crecimiento de arroz y la mayor concentración de este elemento se encuentra en hojas y tallos (Wang *et al.* 2018). Otros autores registraron mayor altura de planta, número de macollos y pesos seco en plantas con mayor dosis de fertilización comparadas con las plantas que no fueron fertilizadas (Rathnayaka *et al.*, 2018). Por otra parte, la deficiencia de nutrientes como el nitrógeno disminuye la formación de tallos mientras que, las plantas con deficiencia de fósforo presentan tallos con mayor altura pero más delgados (Arias-Badilla *et al.*, 2020). El nitrógeno es el principal

regulador en la asignación de aparatos fotosintéticos, por lo que la deficiencia de nitrógeno afecta la productibilidad fotosintética e impide el desarrollo y crecimiento de la planta (Filacek *et al.* 2022; Tantray *et al.*, 2020). Kumar *et al.*, (2023) reportaron que la ausencia de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo reduce significativamente el crecimiento y rendimiento de grano de arroz en un 50.1 %. El fósforo es requerido para el crecimiento de las plantas al estar involucrado en muchos procesos metabólicos de las plantas, como son: la asignación de carbono, la transferencia de energía, la fotosíntesis y la respiración (Taghinasab *et al.*, 2018). Por lo anterior, la deficiencia de fósforo reduce el crecimiento de las plantas y el rendimiento del cultivo (Yang *et al.*, 2023).

La biomasa como indicador de tolerancia a deficiencia nutricional, fue significativamente diferente entre genotipos de arroz (Figura 7). En general, las líneas de arroz en 100%-FQ mostraron mayor biomasa al final del ciclo en comparación con los de 10%-FQ. En promedio, se cuantificó una biomasa superior de 29 % en líneas de arroz expuestas a 100%-FQ. De acuerdo con Ballesteros *et al.* (2015), al elevar las dosis de nitrógeno las plantas muestran mayor crecimiento y desarrollo, lo que incrementa el peso de la biomasa fresca. Wang *et al.* (2023) reportaron un aumento significativo del el peso fresco y seco cuando se aplicó nitrógeno, ya que este nutriente mejora la actividad del nitrato reductasa y glutamina sintetasa en el arroz relacionadas con el crecimiento de las plantas.

Tabla 2. Altura de planta y biomasa fresca de 136 las líneas de arroz en condiciones de 100%-FQ y 10%-FQ.

DDS	Altura de planta (cm)		Biomasa fresca (g)	
	100 %-FQ \pm StdErr	10 %-FQ \pm StdErr	100 %-FQ \pm StdErr	10%-FQ \pm StdErr
30	22.0 \pm 0.1 a	20.0 \pm 0.1 b	14.50 \pm 0.5 b	15.40 \pm 0.4 a
60	50.6 \pm 0.5 a	45.2 \pm 0.5 b	208.7 \pm 6.0 b	122.2 \pm 3.9 b
90	73.8 \pm 0.5 a	66.7 \pm 0.5 b	613.3 \pm 17.9 a	435.3 \pm 11.0 b

Nota: Medias con letras iguales no difieren significativamente (Tukey, $P\leq 0.05$). Días después de la siembra (DDS). Fertilización química nitrogenada y fosforada (FQ).

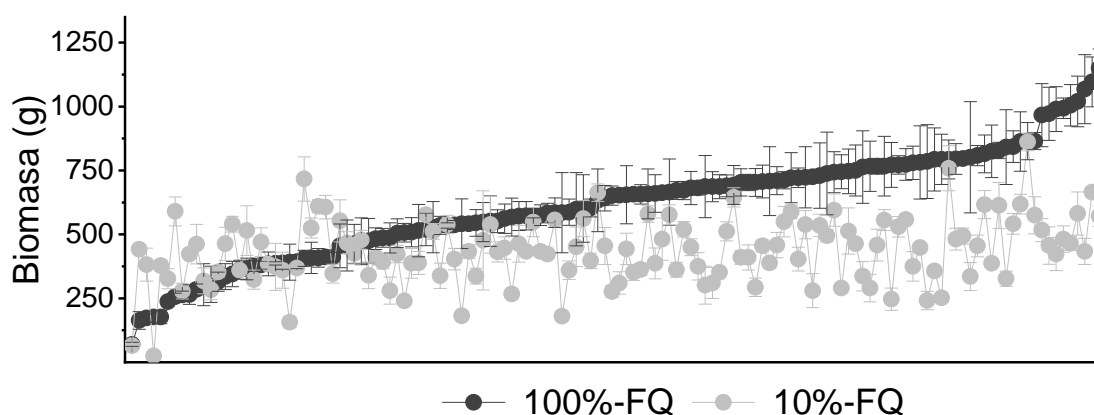


Figura 7. Biomasa final de líneas de arroz en dos niveles de fertilización química. Nota: cada círculo ilustra el promedio \pm StdErr de tres repeticiones. Fertilización química nitrogenada y fosforada (FQ).

CONCLUSIÓN

Las plantas del cultivo de arroz son afectadas por diversos hongos como son *Alternaria* sp., *Fusarium equiseti* y *Curvularia geniculata* los cuales se identificaron en este estudio. La incidencia y severidad del daño ocasionado por estos hongos aumenta cuando se presenta deficiencia nutricional (10 %-FQ), de igual manera la altura y biomasa fresca disminuyen en esta condición, por el contrario las plantas expuestas al 100 %-FQ muestran menor incidencia y severidad del daño de hongos y mayor altura y biomasa fresca. En este sentido, en ambos tratamientos se encontró que Chiclayo 61 fue la línea de arroz con menor daño registrando incidencia entre 3.3 a 36.7 % y <1.5 % de severidad del daño ocasionado por los hongos fitopatógenos antes mencionados. Los síntomas observados en las hojas de las líneas de arroz fueron manchas color café con forma circular y coloración amarillento en las hojas de las plantas. Es importante continuar con la evaluación de genotipos resistentes al daño ocasionado por hongos fitopatógenos ya que estos afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas lo que influye en el rendimiento del cultivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Campo Experimental Las Huastecas-INIFAP en especial al técnico Guadalupe González Muñoz por su profesionalismo en el manejo del cultivo, a la Facultad de Ingeniería y Ciencias-Universidad Autónoma de Tamaulipas por el apoyo para el establecimiento y ejecución de esta investigación y al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT-México) por la beca de maestría otorgada al primer autor.

Funding. All the authors declare that they have not received any funding in the development of the research.

Conflic to finterest. The authors declare no conflicto of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable

Data availability. The data is available upon request, with the corresponding author eosorio@docentes.uat.edu.mx

Author contribution statement (CRediT). **A. Martínez-Bautista**-Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Methodology, Writing-original draft., **E. Osorio-Hernández**-Supervision and Writing-review; **J. Patishtan**-Supervision and Writing-review and editing; **S. de los Santos Villalobos**-Writing-review; **E.J. Barrios-Gómez**- Resources.

REFERENCIAS

- Acevedo, B.M.A., Salazar, M., Castrillo, F.W.A., Torres, A.O. J., Reyes R.E.R, Navas, M., Alvarez P.R.M., Moreno, O.J. and Torres T.E., 2011. Efectos de la densidad de siembra y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de granos de arroz del cultivar centauro en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 61, pp. 15-26. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2011000100002&lng=es&tlng=es (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Agbowuro, G.O., Afolabi, M.S., Olamiriki E.F. and Awoyemi S.O., 2020. Rice blast disease (*Magnaporthe oryzae*): a menace to rice production and humanity. *International Journal of Pathogen Research*, 4, pp. 32-39. <https://doi.org/10.9734/IJPR/2020/v4i330114>
- Agrios, G., 2005. *Plant pathology*. Quinta edición. Ámsterdam. Elsevier. Academie press. <https://www.elsevier.com/books/plant-pathology/agrios/978-0-08-047378-9>. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Aguilar-Ancocota, R., Maldonado, A., Zapata, Y., More, M., Galecio, M. and Namó, P., 2018. Etiología de la enfermedad de pudrición de vaina y tallo en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) var. Nir. 1, fundo Mamburé, valle del Chira, Piura-Perú. *Manglar*, 14, pp. 31-38. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2017.005>
- Aguirre, A, Bautista, C.E. and Rodríguez, C.H., 2013. Guía para producir arroz de riego en la planicie huasteca, México: INIFAP
- Alam, S, Kumar, S.R and Shukla, D.N., 2014. Screening of some fungi isolation of rice cultivars in different site of allahabad, Varanasi, Mirzapur, Jaunpur and Chandauli District in Uttar Pradesh. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7, pp. 67-71. www.iosrjournals.org. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Alheeti, M., Farhan, M.A., Al-Saad, L.A. and Theer, R.M., 2021. Evaluation of the performance of ImageJ, leaf doctor applications, and visual assessments in measuring severity of two leaf spot diseases. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 761, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/761/1/012030>

- Arias-Badilla, J.G., Esquivel-Segura, E.A. and Campos-Rodríguez, R., 2020. Evaluación de la densidad de siembra y nivel de fertilización en arroz, para las variedades Palmar-18, Lazarroz FL y NayuribeB FL, en Parrita (Pacífico Central), Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 33, pp. 13-24. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i3.4363>
- Ballesteros, E., Morales R.E.J., Franco, M.O., Santoyo, C.E., Estrada, C.G. and Gutiérrez, R.F., 2015. Manejo de fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento de triticale. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, pp. 721-733. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000400005&lng=es&nrm=iso. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Barnett, H.L. and Hunter, B.B., 1998. *Illustrated genera of imperfect fungi*, Minesota: The American Phytopathological Society.
- Barrios, G.E.J., Franccede, G.G., Canul, K.J. and Hernández, A.M.G., 2016. Evaluación de líneas avanzadas de arroz de grano grueso en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, pp. 1091-1102. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000501091&lng=es&tlng=es. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Bashyal, B.M., Aggarwal, R., Sharma, S., Gupta, S., Rawat, K., Singh, D., Singh, A.K. and Gopala K. S., 2016. Occurrence, identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with bakanae disease of basmati rice in India. *European Journal of Plant Pathology*, 144, pp. 457-466. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0783-8>
- Bastida, L.M., Gutiérrez, S.A. and Carmona, M.A., 2019. Aislamiento y caracterización sintomática de *Pyricularia* spp. en arroz y otros hospedantes en la provincia de Corrientes (Argentina). *Summa Phytopathol*, 45, pp. 200-203. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/190957>
- Bordin, L.C., Casa, R.T., Marcuzzo, L.L., Souza, C.A., Gheller, A., Zancan, R.L. and Stoltz, J.C., 2016a. Linear relationships between leaf incidence and severity in multiple pathosystem of leaf spots in irrigated rice. *Summa Phytopathologica*, 42, pp. 239-242. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2081>
- Bordin, L.C., Trezi, C.R., Marcuzzo, L.L., Melo, R.E., Gheller, A., Zancan, R.L. and Fingstag, M.D., 2016b. Critical-point models to relate yield and disease intensity of the multiple pathosystem in rice leaf spots disease. *Ciencia Rural*, 46, pp. 7-12. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150310>
- Caldas, J. F., Vásquez P.H.V. and Lizárraga T. A. A., 2020. Guía técnica: Manejo del cultivo de arroz bajo el sistema de riego con secas intermitentes en las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1053>. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Cárdenas, R. M., Pérez, N. and Cristo, E., 2007. Análisis comparativo del comportamiento de líneas y variedades de arroz (*Oryza sativa* Lin.) ante *Pyricularia grisea* Sacc. en dos épocas. *Cultivos Tropicales*, 28, pp. 45-50. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217731006>
- Dogara, A.M. and Jumare, A.J., 2014. Origin, distribution and heading date in cultivated rice. *International Journal of Plant Biology & Research*, 2, pp. 1-6. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US2018G00005>. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Estrada, G. and Sandoval, I., 2004. Patogenicidad de especies de *Curvularia* en arroz. *Fitosanidad*, 8, pp. 23-26. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209117865004>. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023. Cultivos y productos de ganadería. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/vi_sualize. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, 41, pp. 51-57. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Filacek, A., Zivcak, M., Barboricova, M., Misheva, S.P., Pereira, E.G., Yang, X. and Brestic, M., 2022. Diversity of responses to nitrogen deficiency in distinct wheat genotypes reveals the role of alternative electron flows in photoprotection. *Photosynthesis Research*,

- 154, pp. 259-276. <https://doi.org/10.1007/s11120-022-00966-z>
- Furcal-Beriguete, P. and Herrera-Barrantes, A., 2013. Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 24, pp. 357-364. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000200013&lng=en&tlng=en. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Gupta, A.K., Solanki, I.S., Bashyal, B.M., Singh, Y. and Srivastava, K., 2015. Bakanae of rice—an emerging disease in Asia. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 25, pp. 1499-1514
- Hartley, T.N., Thomas, A.S. and Maathuis, F.J.M., 2019. A role for the OsHKT 2;1 sodium transporter in potassium use efficiency in rice. *Journal of Experimental Botany*, 71, pp. 699-706. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz113>
- Hasanuzzaman M., Borhannuddin B.M.H.M, Nahar, K., Shahadat, H.M., Al Mahmud, J., Shahadat, H.M., Chowdhury, M. A.A., Mounita and Fujita, M., 2018. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8, pp. 1-29. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>
- IRRI (International Rice Research Institute), 2002. Standard Evaluation System for Rice (SES). Philippines.
- Jana, K., Mallick, G.K., Das, S.K., Biswas, B., Kundu, M.K., Koireng, R.J. and Puste, A.M., 2017. Evaluation of potential rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with different levels of N under rainfed shallow lowland situation. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 2, pp. 202-205. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IN2018700014>. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Kai, T., Kumano, M. and Tamaki, M., 2020. A study on rice growth and soil environments in paddy fields using different organic and chemical fertilizers. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 9, pp. 331-342. <https://doi.org/10.4236/jacen.2020.94024>
- Khan, A.A., Jilani, G., Akhtar, M.S., Naqvi, S.M.S. and Rasheed, M., 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 1, pp. 48-58.
- Kumar, B. and Sharma, G.K. 2023. Assessment of soil fertility through response of rice (*Oryza sativa* L.) to nutrient omission in alfisols of Kondagaon District of Chhattisgarh in India. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35, pp. 58-67. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i42799>
- Liu, W., Liu, L., Triplett, L., Leach, J.E. and Wang, G., 2014. Novel insights into rice innate immunity against bacterial and fungal pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 52, pp. 213-241. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-102313-045926>
- Longya, A., Talumphai, S. and Jantasuriyarat, C., 2020. Morphological characterization and genetic diversity of rice blast fungus, *Pyricularia oryzae*, from Thailand using ISSR and SRAP markers. *Journal of Fungi*, 6, pp. 1-13. <https://doi.org/10.3390/jof6010038>
- López-Hernández, M. B., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Miranda-Colín, S., Barrios-Gómez, E.J. and Martínez-Rueda, C. G., 2018. Rendimiento de grano y sus componentes, y densidad de raíces en arroz bajo riego y seco. *Agrociencia*, 52, pp. 563-580. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000400563&lng=es&tlng=es. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Majeed, R.A., Shahid, A.A., Ashfaq, M., Saleemy, M.Z. and Haider, M.S., 2015. First report of *Curvularia lunata* causing brown leaf spots of rice in Punjab, Pakistan. *Plant Disease*, 100, pp. 219-219. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-15-0581-PDN>
- Majeed, R.A., Shahid, A.A., Saleem, M.Z., Asif, M., Zahid, M.A., and Haider, M.S., 2016. First report of *Curvularia tuberculata* causing brown leaf spot of rice in Punjab, Pakistan. *Plant Disease*, 100, pp. 1791-1791. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-16-0198-PDN>
- Martínez, B.A., Osorio, H.E. and Patishtan, J., 2022. Incremento de la patogenicidad de hongos en arroz bajo condiciones de desbalance nutricional. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6, pp. 2006-2019. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2726

- Maschman, E.T., Slaton, A.N., Cartwright, D. R. and Norman, J.R., 2010. Rate and timing of potassium fertilization and fungicide influence rice yield and stem rot. *Agronomy Journal*, 102, pp. 163-170. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0245>
- Matić, S., Bagnaresi, P., Biselli, C., Orru, L., Carneiro, G.A., Siciliano, I., Valé, G., Gullino M.L. and Spadaro, Davide., 2016. Comparative transcriptome profiling of resistant and susceptible rice genotypes in response to the seedborne pathogen *Fusarium fujikuroi*. *BMC Genomics*, 17, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-2925-6>
- Méndez, R.M. and Reyes, M., 2009. Detección de *Alternaria padwickii* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). *Fitosanidad*, 13(1), pp. 39-40. <https://agris.fao.org>. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Mendoza, H.E., Loor, Á.C. and Vilema, S.F. 2019. El arroz y su importancia en los emprendimientos rurales de la agroindustria como mecanismo de desarrollo local de Samborondón. *Universidad y Sociedad*, 11(1), pp. 324-330. <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>
- Mew, T.W. and Gonzales, P., 2002. A Handbook of rice seedborne fungi, Philippines: International Rice Research Institute and Science Publishers.
- Nguyen, T.T.T., Kim, J., Jeon, S.J., Lee, C.W., Magan, N. and Lee, H.B., 2018. Mycotoxin production of *Alternaria* strains isolated from Korean barley grains determined by LC-MS/MS. *International Journal of Food Microbiology*, 268, pp. 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.01.003>
- Pandey, P., Timila, R.D. and Airee, S., 2020. Seeds infection of *Fusarium moniliforme* in different rice varieties grown in mid-hills of Nepal. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 5, pp. 261-267. <https://dx.doi.org/10.26832/24566632.2020.050305>
- Patishtan, J., Hartley, T.N., Fonseca de Carvalho, R. and Maathuis, F.J.M., 2018. Genome-wide association studies to identify rice salt-tolerance markers. *Plant, Cell & Environment*, 41, pp. 970-982. <https://doi.org/10.1111/pce.12975>
- Quintana, L., Gutierrez, S., Maidana, M., Arriola, M. and Ortiz, A., 2017. Morphological characterization of *Alternaria padwickii* in rice leaves (*Oryza sativa* L.) and its prevalence in the departments of itapua, misiones and caazapa. *International Journal of Advanced Research*, 5, pp. 1109-1112. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/4221>
- Quintana, L., Gutiérrez, S., Sotomayor, N. and Vigo, R., 2020. Hongos asociados a *Echinochloa colona* en zonas de producción de arroz en Paraguay. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 25, pp. 32-40. <https://doi.org/10.32480/rscp.2020-25-1.32-40>
- Ramírez-Juárez J., 2022. Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, pp. 553-565. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2854>
- Rathnayaka, R.M.N.N., Mahendran, S., Iqbal, Y.B. and Rifnas, L.M., 2018. Influence of Urea and Nano-Nitrogen fertilizers on the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) cultivar 'Bg 250'. *International Journal of Research Publications*, 5, pp. 1-7. <http://ijrp.org/> (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Ruiz P.Y, Rendón L.V., Quispe S. M. and Goyes C.M., 2023. Controle químico de doenças associadas ao cultivo do arroz (*Oryza sativa* L.) em condições de irrigação. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6, pp. 886-902. <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n1-078>
- Sandoval-Martínez, I.E., Osnaya-González, M., Soto-Rojas, L. and Nava-Díaz, C., 2022. Hongos asociados al manchado del grano del arroz: una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45, pp. 509-517. <http://doi.org/10.35196/rmf.2022.4.509>
- Santos, P.R.R.D., Leão, E.U., Aguiar, R.W.D.S., Melo, M.P.D. and Santos, G.R.D., 2018. Morphological and molecular characterization of *Curvularia lunata* pathogenic to *Andropogon* grass. *Bragantia*, 77, pp. 326-332. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017258>
- Schurt, D.A., Dutra, R.R, Araujo, L., Carré-Missio, V. and de Ávila, F., 2015. Análise microscópica da resistência do arroz à queima das bainhas mediada pelo silício. *Bragantia, Campinas*,

- 74, pp. 93-101.
<https://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0355>
- Shrestha, J., Kandel, M., Subedi, S. and Shah, K. K., 2020. Role of nutrients in rice (*Oryza sativa* L.): a review. *Agrica* 9, 53-62.
<https://doi.org/10.5958/2394-448X.2020.00008.5>
- Shukla, V.K., Tiwari, R.K., Malviya, D.K., Singh, S.K. and Ram, U.S., 2015. Performance of rice varieties in relation to nitrogen levels under irrigated condition. *African Journal of Agricultural Research*, 10, pp. 1517-1520.
<https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9567>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), 2023. Producción anual agrícola. Cierre de la producción agrícola (1980-2021). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Arroz palay.
<https://nube.siap.gob.mx/cierreaagricola/>. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Sieiro, G.L., González, A.N., Rodríguez, E.L. and Rodríguez, M., 2020. Efecto de los macroelementos primarios en la susceptibilidad a enfermedades. *Centro Agrícola*, 47, pp. 66-74.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artext&pid=S0253-57852020000300066&lng=es&tlng=es. (Consultado el 02 de mayo 2023).
- Silva-Lobo, V.L., Lacerda, M.G., Filippi, M.C., Silva, G.B. and Prabhu A.S., 2011. Influência da adubação nitrogenada, época de plantio e aerossolos sobre a severidade da mancha de grãos em arroz de terras altas. *Summa Phytopathologica*, 37, pp. 110-115.
<https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000300005>
- Taghinasab, M., Imani, J., Steffens, D., Glaeser, S.P. and Kogel, K.H., 2018. The root endophytes *Trametes versicolor* and *Piriformospora indica* increase grain yield and P content in wheat. *Plant Soil*, 426, pp. 339-348.
<https://doi.org/10.1007/s11104-018-3624-7>
- Tantray, A.Y., Bashir, S.S. and Ahmad, A., 2020. Low nitrogen stress regulates chlorophyll fluorescence in coordination with photosynthesis and Rubisco efficiency of rice. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26, pp. 83-94.
<https://doi.org/10.1007/s12298-019-00721-0>
- Terensan, S., Fernando, H. N. S., Silva, J. N., Perera, S. C. N., Kottarachchi, N. S., and Weerasena, O. J. 2022. Morphological and molecular analysis of fungal species associated with blast and brown spot diseases of *Oryza sativa*. *Plant Disease*, 106, pp. 1617-1625. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-21-0864-RE>
- Verma, R.K., Chetia, S.K., Sharma, V., Baishya, S., Sharma, H. and Modi, M.K., 2022. GWAS to spot candidate genes associated with grain quality traits in diverse rice accessions of North East India. *Molecular Biology Reports*, 49, pp. 5365-5377.
<https://doi.org/10.1007/s11033-021-07113-2>
- Wang, H., Zhong, L., Fu, X., Huang, S., Zhao, D., He, H. and Chen, X., 2023. Physiological analysis reveals the mechanism of accelerated growth recovery for rice seedlings by nitrogen application after low temperature stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, pp. 1-16.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1133592>
- Wang, J., Lu, Y., Wang, J., Xu, R., Li, J., Hu, W., Xiong, Y., Zhang, Y., Wang, X. and Tian, X., 2018. Effects of elevated nitrogen application on nitrogen partitioning, plant growth, grain quality and key genes involved in glutamate biosynthesis among three rice genotypes. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78, pp. 152-164.
<https://doi.org/10.4067/S0718-58392018000200152>
- Wei, Z., Yuan, Q., Lin, H., Li, X., Zhang, C., Gao, H., Zhang, B., He, H., Liu, T., Jie, Z., Gao, X., Shi, S., Wang, B., Gao, Z., Kong, L., Qian, Q. and Shang, L., 2021. Linkage analysis, GWAS, transcriptome analysis to identify candidate genes for rice seedlings in response to high temperature stress. *BMC Plant Biology*, 21, pp. 1-13.
<https://doi.org/10.1186/s12870-021-02857-2>
- Wulff, E.G., Sørensen, J.L., Lübeck, M., Nielsen, K.F., Thrane, U. and Torp, J., 2010. *Fusarium* spp., associated with rice Bakanae: ecology, genetic diversity, pathogenicity and toxigenicity. *Environmental Microbiology*, 12, pp. 649-657.
<https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.02105.x>
- Xi, X., Li, Z., Xilang, Y., Hanshui, C., Jingjing, L., Peng, C., Lifeng, G., Xiangjing, W. and Junwei, Z. W. X., 2022. *Alternaria* spp.

- Associated with leaf blight of maize in Heilongjiang Province, China. *Plant Disease*, 106, pp. 72-584. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-21-1151-RE>
- Yang, M., Sakruaba, Y., Ishikawa, T., Ohtsuki, N., Kawai-Yamada, M. and Yanagisawa, S., 2023. Chloroplastic Sec14-like proteins modulate growth and phosphate deficiency responses in Arabidopsis and rice. *Plant Physiology*, 1, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad212>
- Yano, K., Morinaka, Y., Wang, F., Huang, P., Takehara, S., Hirai, T., Ito, A., Koketsu, E., Kawamura, M. and Kotake, K., 2019. GWAS with principal component analysis identifies a gene comprehensively controlling rice architecture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116, pp. 21262-21267. <https://doi.org/10.1073/pnas.1904964116>