

Evaluación de la severidad del hongo *Gaeumannomyces graminis* en dos variedades de arroz Fedearroz 67 y Fedearroz 60 en el municipio de Saldaña, Tolima

Jeraldine Ospina Camelo

Julian Stiven Peña Useche

Asesor

Jaime Alfonso Ortiz Londoño

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Agronomía

2024

Jaime Alfonso Ortiz Londoño

Director de Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

2024

Dedicatoria

Jeraldine Ospina Camelo

Dedico este trabajo de grado, este nuevo logro primeramente a Dios que me dio la sabiduría para realizar cada uno de los trabajos y superar cada semestre.

A mis padres que siempre me apoyaron, me daban ánimo para seguir cuando sentía que no podía con todo, que siempre trataban de ayudarme a solucionar cuando me veían insegura.

A mi esposo que fue testigo de muchas traspasadas y me acompañó en algunas de ellas, que fue mi paño de lágrimas cuando sentía impotencia por que no podía, que me ayuda a realizar las actividades cuando podía estaba detrás de una cámara grabándome y apoyándome en cada momento.

A mi hijo quien me dio las fuerzas necesarias para continuar, quien es mi impulso para decir puedo continuar y que por el debo de hacer mi mejor esfuerzo para brindarle todo lo mejor que pueda, y darle así el mejor ejemplo de vida y de que si se pueden cumplir las metas sin importar los obstáculos.

Julian Stiven Peña Useche

A Dios quien ha sido mi guía y soporte en tiempos de angustia.

Seguidamente a mis padres, con los cuales estoy eternamente agradecido por brindarme su apoyo incondicional y las herramientas necesarias para convertirme en el hombre que soy el día de hoy.

También a aquellas personas que en su momento tuvieron para mí una voz de aliento y me motivaron a continuar.

Y, finalmente a mí, por tener la disciplina y la constancia necesaria para lograr tan anhelada meta.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por permitirnos culminar una meta más a nuestros padres que siempre nos brindaron un apoyo incondicional para poder cumplir todos los objetivos personales y académicos. Le agradecemos muy profundamente a nuestro tutor Jaime Ortiz por su dedicación y paciencia, sin sus correcciones no hubiésemos podido llegar a esta instancia tan anhelada y por siempre darnos ánimos.

Agradecemos a Fedearroz por depositar en nosotros su confianza y prestarnos sus instalaciones, sus equipos para avanzar en nuestro proyecto de investigación, a sus trabajadoras del laboratorio de Fitopatología las ingenieras Olga Higuera y Carolina Tirado; a sus auxiliares Norma Useche, Diana Zúñiga y Gildardo Bocanegra por su atención y guía a la hora de efectuar la investigación.

Por último, agradecer a la universidad que nos exigió tanto, pero al mismo tiempo nos ha permitido obtener tan ansiado título profesional.

Resumen

Esta investigación se enfoca en explorar dos metas esenciales; tiene como objetivo evaluar la severidad de dos cepas de hongo *Gaeumannomyces graminis* Gg011 y 123.6.18 en dos variedades de arroz Fedearroz 60 y Fedearroz 67, en segundo lugar, se evaluó el impacto de los aislamientos que presentan diferencias fenotípicas en términos de daño causado por el *Gaeumannomyces graminis*.

Teniendo en cuenta los resultados se obtuvieron variaciones poco significativas en la cantidad de macollas y en el rendimiento de cada uno de los aislamientos. Además, se observó que los aislamientos exhibían distintos grados de severidad, aunque no muy marcados, pero se observaron en todas las plantas.

De esta manera, por medio de aislamientos realizados con cada una de las cepas se logró obtener datos de los síntomas evidenciados en cada una de estas, realizando evaluaciones cada semana donde se registraba la severidad del daño teniendo en cuenta la escala de Ospina e higuera 2007, se realizó conteo de macollas con el fin de identificar el rendimiento en las dos variedades de arroz estudiadas (Fedearroz 67, Fedearroz 60). Se Manejó un aislamiento testigo por variedad sin inocular.

Los datos obtenidos se registraron en planillas para posteriormente analizarlos de manera más detallada; ante posibles daños u hongos observados a simple vista se realizó un diagnóstico de sintomatología para confirmar la presencia de hongo, este proceso se hacía por medio de cámara húmeda e improntas en el microscopio cuando era necesario, para tener información más precisa; con esta información identificamos la resistencia al hongo de cada variedad plasmándolo en diferentes gráficos.

Con el desarrollo de las evaluaciones podemos evidenciar que lo más relevante es la cepa del hongo mas no la variedad, respecto a esto se deben buscar estrategias para el manejo adecuado del mismo.

Con los análisis realizados en el programa estadístico, obtuvimos los valores determinantes, los cuales arrojaron, en cuanto a macollas en el tratamiento 1, un promedio 7,25, en contraste al tratamiento 2 con un promedio 6,75 para la variedad F 60. Para valores obtenidos en severidad se obtuvo un 30% en el tratamiento 1 de la variedad F 67, y en el tratamiento 2 en variedad F 60 un 15%.

Como resultado de la investigación se evidenció que el tratamiento de la cepa 1 (Gg011) es claramente más agresivo que el tratamiento de la cepa 2(123.6.18), con mayores porcentajes de severidad de la enfermedad y vaneamiento de grano en ambas variedades de arroz (Fedearroz 60 y Fedearroz 67). Estos resultados son fundamentales para entender las dinámicas entre los tratamientos y las variedades de arroz, ya que suministran una base sólida a la hora de tomar disposiciones en cuanto al manejo de enfermedades en el cultivo del arroz en el municipio de Saldaña, Tolima, y fomentar la investigación de las diferentes cepas del hongo de referencia, para más variedades comerciales en los territorios.

Palabras clave: Rendimiento, Arroz, *Gaeumannomyces graminis*, Macollas, Evaluación, Hongo.

Abstract

This research focuses on exploring two essential objectives. First, it aims to evaluate the severity of two strains of the fungus *Gaeumannomyces graminis* (Gg011 and 123.6.18) on two rice varieties, Fedearroz 60 and Fedearroz 67. Secondly, the study evaluates the impact of isolates that exhibit phenotypic differences in terms of damage caused by *Gaeumannomyces graminis*.

The results show no significant variations in the number of tillers or the yield across the isolates. Additionally, while the isolates displayed different degrees of severity, these differences were not particularly pronounced but were present in all plants. In this way, isolations conducted with each strain provided data on the symptoms observed, with weekly evaluations tracking the severity of damage based on the Ospina and Higuera 2007 scale. Tillers were counted to identify the yield of the two rice varieties studied (Fedearroz 67 and Fedearroz 60), and an uninoculated control isolation was maintained for each variety.

The collected data were recorded in spreadsheets for detailed analysis. In cases of visible damage or fungal presence, symptom diagnoses were performed to confirm the presence of the fungus. This was done using a moist chamber and microscope imprints when necessary, allowing for more precise information. With this data, we identified the resistance of each variety to the fungus, which was presented in different graphs.

The evaluations highlight that the most significant factor is the fungal strain, rather than the variety. Therefore, strategies should be sought for its proper management. As a result of this research, it was found that treatment with strain 1 (Gg011) was clearly more aggressive than treatment with strain 2 (123.6.18), with higher severity percentages in the tillers and grain sterility for both rice varieties (Fedearroz 60 and Fedearroz 67). These results are crucial for

understanding the dynamics between treatments and rice varieties, providing a solid foundation for decision-making regarding disease management in rice crops in the municipality of Saldaña, Tolima.

Keywords: Yield, Rice, *Gaeumannomyces graminis*, Tillers, Performance, Evaluation, Fungus.

Contenido

Introducción	14
Justificación.....	16
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos	18
Marco Teórico	19
Características del Patógeno.....	20
Descripción de las Variedades.....	20
La Importancia del Arroz	21
Agente Causal del “Mal de pie” del Arroz.....	22
Ubicación Taxonómica de <i>Gaeumannomyces graminis</i>	24
Biología del Hongo.....	24
Identificación a Nivel de Especies	24
Metodología	28
Unidad Muestral de las Jaulas	30
Materiales	30
Selección de Cepas y Variedades de Arroz	31
Caracterización de los Aislamientos.....	31
Evaluación del Rendimiento y Número de Macollas	34
Evaluación de la Severidad de los Aislamientos	35
Análisis Estadístico	37
Interpretación de Resultados	37

Resultados	38
Parámetros Evaluados.....	38
Conteo de Macollas	38
Severidad	40
Rendimiento de Grano.....	46
Análisis de Resultados de Vaneamiento.....	48
Análisis Estadístico	48
Análisis para Macollamiento	49
Análisis Estadístico Tukey Macolla	50
Análisis De Severidad.....	51
Análisis Estadístico Tukey Severidad.....	52
Análisis Para Vaneamiento.....	53
Análisis estadístico Vaneamiento Tukey.....	56
Conclusiones	57
Recomendaciones	59
Referencias	61

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Primera evaluación de macollas a los 35 días</i>	38
Tabla 2 <i>Segunda evaluación de conteo de macollas a los 60 días</i>	39
Tabla 3 <i>Primera evaluación grado de severidad 60 días</i>	39
Tabla 4 <i>Segunda evaluación grado de severidad 68 días</i>	42
Tabla 5 <i>Evaluación de severidad a los 76 días</i>	43
Tabla 6 <i>Cuarta evaluación grado de severidad 84 días</i>	44
Tabla 7 <i>Quinta evaluación grado de severidad 92 días</i>	45
Tabla 8 <i>Evaluación de rendimiento de grano a los 100 días</i>	47
Tabla 9 <i>Análisis de varianza macolla</i>	49
Tabla 10 <i>Medias macolla</i>	49
Tabla 11 <i>Comparaciones en parejas en Tukey macolla</i>	49
Tabla 12 <i>Anova macolla vs tratamiento</i>	50
Tabla 13 <i>Análisis de varianza severidad</i>	51
Tabla 14 <i>Medias severidad</i>	51
Tabla 15 <i>Comparaciones en parejas de Tukey severidad</i>	52
Tabla 16 <i>Análisis de varianza vaneamiento</i>	54
Tabla 17 <i>Medias vaneamiento</i>	55
Tabla 18 <i>Comparaciones en parejas en Tukey vaneamiento</i>	55

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Infección por Gaeumannomyces graminis</i>	23
Figura 2 <i>Variedades de Gaeumannomyces graminis</i>	26
Figura 3 <i>Casa de malla</i>	29
Figura 4 <i>Jaulas experimentales</i>	30
Figura 5 <i>Activación de la cepa del hongo Gaeumannomyces</i>	31
Figura 6 <i>Crecimiento del hongo</i>	32
Figura 7 <i>Preparación del hongo para inocular los granos de avena</i>	32
Figura 8 <i>Granos de avena inoculadas con las cepas del hongo Gaeumannomyces graminis</i>	33
Figura 9 <i>Inoculación del hongo Gaeumannomyces en el suelo de cada una de las materas</i>	33
Figura 10 <i>Distribución de materas y siembra en jaulas</i>	34
Figura 11 <i>Escala de severidad del hongo Gaeumannomyces graminis en el arroz</i>	36
Figura 12 <i>Sintomatología del hongo Gaeumannomyces en la planta</i>	36
Figura 13 <i>Evaluación 35 días</i>	39
Figura 14 <i>Evaluación de macollas 60 días</i>	40
Figura 15 <i>Evaluación de severidad 60 días</i>	41
Figura 16 <i>Evaluación de severidad 68 días</i>	42
Figura 17 <i>Evaluación de severidad 76 días</i>	43
Figura 18 <i>Evaluación de severidad 84 días</i>	44
Figura 19 <i>Evaluación de severidad 92 días</i>	45
Figura 20 <i>Evaluación % vaneamiento a los 100 días</i>	47
Figura 21 <i>Diferencia de las medias para macolla</i>	50
Figura 22 <i>Diferencia de las medias para severidad</i>	52

Figura 23 <i>Anova vaneamiento vs tratamiento</i>	53
Figura 24 <i>Histograma de vaneamiento por tratamiento</i>	54
Figura 25 <i>Diferencia de las medias para vaneamiento</i>	56

Introducción

La siguiente investigación tiene como objetivo principal evaluar la severidad del hongo *Gaeumannomyces graminis* en dos variedades de arroz Fedearroz y a su vez dar claridad sobre el desempeño y las características fenotípicas de aislamientos particulares de dos cepas de hongo, Gg011 y Nacataea 123.6.18. Este estudio se planteó con la intención de profundizar en el entendimiento de las variaciones en la respuesta de las cepas a diferentes condiciones y factores patogénicos (Gramene, 2006).

En la búsqueda de resultados concretos, se evidenció que los aislamientos sometidos a la evaluación muestran diferencias significativas en términos de rendimiento y producción de macollas. Se demostró que estas diferencias podrían también manifestarse en la agresividad de los aislamientos, generando un espectro que va desde la alta agresividad hasta la baja agresividad. Esta caracterización se espera que establezca una correlación directa entre el aislamiento específico y los síntomas inducidos en las plantas, permitiendo así la identificación precisa de la enfermedad causante, ya sea la temida "rodilla de pollo" o la "hoja anaranjada" (FAO, 2018).

Además, como uno de los resultados potenciales, se evidenció la diferenciación en la respuesta de dos variedades de arroz, Fedearroz 67 y Fedearroz 60, ante la enfermedad. Dado que estas variedades exhiben distintos niveles de severidad a la enfermedad, se observó que esta variación se refleje en la severidad de los síntomas observados.

Mediante el análisis detallado de estos aislamientos y su interacción con las variedades de arroz, este estudio proporciona conocimientos esenciales para la comprensión de las dinámicas patogénicas y las respuestas de las plantas. Al visualizar los aspectos más sutiles de estas interacciones, se pretende contribuir significativamente al campo de la fitopatología y ofrecer

perspectivas valiosas para futuras estrategias de manejo y control de enfermedades en cultivos de arroz.

Justificación

Los cereales constituyen el elemento más importante de la dieta humana. Solamente el maíz, arroz y trigo representan aproximadamente el 42.5 % del suministro de calorías alimentarias del mundo. En el plano mundial, su contribución a la aportación de proteínas, que ronda el 37%, se ve apenas superada por los productos pesqueros y ganaderos (FAO, 2016).

En el estado mundial de la agricultura y la alimentación de 2023 se examina el verdadero costo de los alimentos para lograr sistemas agroalimentarios sostenibles. En el informe se introduce el concepto de beneficios y costos ocultos ambientales, sociales y sanitarios de los sistemas agroalimentarios y se propone un enfoque (la contabilidad de costos reales [CCR]) para abordarlos. Con el fin de poner en marcha el enfoque de la CCR, en el informe se propone un proceso de evaluación de dos fases, que inicialmente consiste en evaluaciones a nivel nacional basadas en la CCR para sensibilizar sobre la cuestión y después pasa a evaluaciones más profundas y específicas destinadas a priorizar soluciones y orientar la adopción de medidas transformadoras. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023).

En el caso específico del arroz (*Oryza sativa* L.) es el alimento más importante para la humanidad, el cual es consumido a diario por la mitad de las personas en todo el mundo (IRRI, 2018). Es cultivado en más de cien países que producen más de 700 millones de toneladas de arroz al año, siendo los países asiáticos los que concentran el 90% de la producción mundial. Brasil, Estados Unidos, Egipto, Madagascar y Nigeria juntos producen 5%

La evaluación de la incidencia y frecuencia de una enfermedad cobra un rol crucial en la comprensión y gestión de los patógenos involucrados. En este sentido, han sido implementados monitoreos fitosanitarios y análisis de laboratorio para abordar la problemática. Los monitoreos han revelado datos notables: en el año 2021, se determinó que la incidencia de la enfermedad

Gaeumannomyces graminis, alcanzó un preocupante 80% en la zona central. Paralelamente, los estudios en el laboratorio de Fitopatología señalaron que el patógeno *Gaeumannomyces graminis* estaba presente en el 77% de las muestras procesadas de arroz (FAO, 2018).

Las manifestaciones sintomáticas observadas en el campo sugieren la existencia de posibles variaciones en las poblaciones de patógenos. Teniendo en cuenta esta incertidumbre, se llevó a cabo durante los años 2017 y 2018, se logró recuperar 30 aislamientos con síntomas característicos de plantas de arroz provenientes de 8 variedades distintas, recolectadas en 6 departamentos de Colombia. Esto se realizó a través de técnicas como la extracción de ADN, se obtuvieron resultados que permitieron su identificación. Esto condujo a la segregación de los aislamientos en 10 grupos distintos. Entre estos grupos, cinco pertenecieron al género *Gaeumannomyces graminis* (ANAR, 2014)

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la severidad del hongo *Gaeumannomyces graminis* en dos variedades de arroz Fedearroz 67 y Fedearroz 60 en el municipio de Saldaña, Tolima.

Objetivos Específicos

Cuantificar el número de macollas presentes en las dos variedades de arroz inoculadas en el hongo *Gaeumannomyces graminis*.

Evaluar el vaneamiento de las dos variedades de arroz ante la presencia de dos cepas de *Gaeumannomyces graminis*.

Analizar la relación entre la severidad de las cepas de *Gaeumannomyces graminis* y los síntomas observados en las plantas infectadas.

Marco Teórico

En Colombia, el mal de pie comenzó a limitar el desarrollo del cultivo de arroz en 2006, extendiéndose a todas las zonas arroceras del país (Ospina, 2009). En el Valle del Cauca y Cauca, en el inicio de 2009, la enfermedad se hizo más evidente. Ha causado significativas disminuciones en la producción de arroz y tiene afectado la calidad en el proceso de molienda.

Se plantea que el hongo *Gaeumannomyces graminis* tiene una estrecha relación con los microorganismos del suelo y la nutrición de la planta, y que factores como la densidad del inóculo, la composición del suelo y la presencia de malas hierbas y gramíneas pueden influir en la gravedad de la enfermedad (Smith, 1998).

En el contexto colombiano, la enfermedad "mal de pie" ha surgido como un desafío considerable en los cultivos de arroz, especialmente en la región central del país. Para abordar esta problemática, se han realizado monitoreos fitosanitarios y análisis de laboratorio para detectar la presencia del patógeno *Gaeumannomyces graminis* en las muestras de arroz.

Esta situación ha despertado la necesidad de investigar y entender mejor la variabilidad y la sintomatología de la enfermedad en el país. Por ello, durante los años 2017 y 2018, se llevó a cabo un estudio en el que se recolectaron 30 aislamientos de síntomas característicos de plantas de arroz en diferentes variedades. Estos aislamientos se sometieron a caracterización morfológica y análisis molecular, incluyendo la extracción de ADN y la amplificación de secuencias ITS1-ITS4 mediante PCR. Los resultados de este estudio permitieron realizar un análisis de filogenia y diferenciar varios grupos, incluyendo *Gaeumannomyces*, *Nakataea* y otros géneros no identificados.

Características del Patógeno

Las enfermedades fúngicas y bacterianas son uno de los factores con mayor capacidad de afectación sobre el potencial productivo del cultivo de arroz. *Gaeumannomyces graminis* es el agente causal de la enfermedad comúnmente conocida como ‘mal del pie’. *Gaeumannomyces graminis* es un hongo que pertenece a la familia Magnaporthaceae, que se caracteriza por una abundante formación de peritecios, las cuales producen normalmente por vía sexual, ocho ascosporas filiformes y hialinas de tono amarillento que se desempeñan 24 como estructuras de dispersión y resistencia. El micelio, de color marrón a oliváceo, presenta hifas septadas y ramificadas. Este hongo *Gaeumannomyces graminis* se obtuvo del banco de germoplasma de Fedearroz la cual nos suministró para el desarrollo de la investigación.

En países vecinos *Gaeumannomyces graminis* afecta principalmente a los cultivos de arroz en Brasil. Este hongo causa la enfermedad conocida como “mancha naranja” o “podredumbre de la corona y la vaina” en el arroz, que se caracteriza por la aparición de manchas negras en las vainas y una decoloración de las hojas. En Venezuela esta enfermedad causa la pudrición negra de la hoja del arroz, también se observado su presencia en cultivos de arroz, especialmente durante la temporada de lluvias. Este hongo provoca una decoloración marrón en las vainas de las hojas, comenzando a nivel de la línea del agua y extendiéndose hacia arriba. También se pueden encontrar numerosos peritecios negros en las áreas afectadas.

Descripción de las Variedades

Las variedades Fedearroz 60 y Fedearroz 67 son variedades de semilla certificada cuya calidad ha sido verificada, éstas dos variedades se escogieron ya que, aunque no hay variedades resistentes, se ha observado en campo que hay variedades mucho más susceptibles como lo es Fedearroz 60 y menos susceptibles como Fedearroz 67. También las anteriores variedades fueron

escogidas ya que son la más utilizadas en esta zona del sur del Tolima. Estas variedades se comportan en altas temperaturas y buena radiación solar, siendo estas condiciones óptimas para su desarrollo.

La Importancia del Arroz

El arroz (*Oryza sativa* L.) ocupa un lugar esencial en la seguridad alimentaria global, junto con el maíz (*Zea mays* L.) y el trigo (*Triticum durum* L.), ya que estos tres cultivos conforman la base de la producción agrícola mundial, con una cosecha anual conjunta de alrededor de 2.500 millones de toneladas (FAO, 2016). A nivel global, el arroz se cultiva en más de cien países, generando una producción que supera los 700 millones de toneladas al año, siendo los países asiáticos responsables del 90% de esta producción, otro 5% proviene de naciones como Brasil, Estados Unidos, Egipto, Madagascar y Nigeria (FAO, 2018).

En la región de Centroamérica, el cultivo de arroz juega un papel crucial en la producción alimentaria. La productividad promedio en la región se sitúa en torno a las 3.1 toneladas por hectárea de cultivo. En el caso de Nicaragua, los rendimientos para el año 2011 alcanzaron aproximadamente 2.5 toneladas métricas por hectárea, incluyendo tanto áreas de riego como de secano. Según el banco central de nicaragua (BCN) El Plan de Producción, Consumo y Comercio en el 2017 diseño objetivos ambiciosos buscando alcanzar áreas de riego cercanas. las 50,700 hectáreas y una producción de alrededor de 213 mil toneladas métricas, con un rendimiento promedio de 4.2 toneladas por hectárea. Esta producción juega un papel sustancial en el abastecimiento de la demanda interna. El 67% del consumo nacional se sustenta en la producción de arroz, la cual está principalmente distribuida en regiones como Río San Juan, Chontales, Boaco, Granada, León y Matagalpa (Baca, 2018). Estos sistemas de producción se establecen de forma

sucesiva en dos ciclos anuales, cubriendo los meses de julio a noviembre y noviembre a marzo. (FONTAGRO, 2012)

La importancia del cultivo de arroz se extiende más allá de su papel como alimento básico, ya que tiene un impacto significativo en la economía y seguridad alimentaria de diversas regiones. La continua búsqueda de métodos para aumentar la productividad y eficiencia en la producción de arroz se vuelve vital para enfrentar los desafíos globales en la alimentación y nutrición.

Agente Causal del “Mal de pie” del Arroz

En el contexto colombiano, la enfermedad "mal de pie" ha surgido como un desafío considerable en los cultivos de arroz, especialmente en la región central del país. Para abordar esta problemática, se han realizado monitoreos fitosanitarios y análisis de laboratorio para detectar la presencia del patógeno *Gaeumannomyces graminis* en las muestras de arroz.

Esta situación ha despertado la necesidad de investigar y entender mejor la variabilidad y la sintomatología de la enfermedad en el país. Por ello, durante los años 2017 y 2018, se llevó a cabo un estudio en el que se recolectaron 30 aislamientos de síntomas característicos de plantas de arroz en diferentes variedades. Estos aislamientos se sometieron a caracterización morfológica y análisis molecular, incluyendo la extracción de ADN y la amplificación de secuencias ITS1-ITS4 mediante PCR. Los resultados de este estudio permitieron realizar un análisis de filogenia y diferenciar varios grupos, incluyendo *Gaeumannomyces*, *Nakataea* y otros géneros no identificados.

La práctica del monocultivo intensivo de arroz en Asia, adoptando sistemas de doble y triple cosecha al año, ha demostrado estar asociada a una serie de consecuencias perjudiciales. Estas incluyen el agotamiento de micronutrientes en el suelo, el aumento de la toxicidad en el suelo y un incremento en la incidencia de plagas y enfermedades (ET, 2009).

En el contexto específico de Nicaragua, la producción arrocerá semestral se ha arraigado como una costumbre anual en los sistemas agrícolas. Sin embargo, este patrón de doble cosecha anual ha contribuido al desarrollo y propagación del patógeno de raíces *Gaeumannomyces spp.* En regiones como Malacatoya (Granada), San Lorenzo (Boaco) y Sébaco (Matagalpa), los productores han notado cómo año tras año la presencia de este ascomicete ha experimentado un incremento en sus campos.

Esta observación resalta la necesidad de evaluar y entender las implicaciones ecológicas y fitopatológicas de estas prácticas agrícolas intensivas. La concentración de cultivos y la frecuencia de cosechas pueden influir en la dinámica de patógenos y en la salud general del suelo. Abordar este fenómeno no solo es relevante para la optimización de la producción agrícola, sino también para el manejo sostenible y a largo plazo de los recursos naturales.

Figura 1

Infección por Gaeumannomyces graminis



Fuente. Autores

Ubicación Taxonómica de *Gaeumannomyces graminis*.

Gaeumannomyces graminis es un tipo de ascomiceto que en su origen, fue categorizado en el orden Diaporthales. No obstante, vínculos con especies del género *Magnaporthe* fueron identificados y consecuentemente fue reubicado en la familia Magnaporthaceae. La asignación de un orden específico aún está por definirse (Cannon, 1994). Este género fue establecido por Von (OLIVIER, 1952)

Biología del Hongo

De acuerdo con Cook (2003), el ciclo de vida de este hongo *Gaeumannomyces graminis* comprende dos fases distintivas: una fase saprofitica y otra parasítica. En la fase saprofitica, el hongo se mantiene como micelio en restos de cultivos o en otras gramíneas (malezas), utilizando estos sustratos como fuente de alimento, lo que le permite atacar al siguiente cultivo. La fase parasítica ocurre cuando las raíces de una nueva planta entran en contacto con el micelio del hongo, que coloniza la zona de las raíces y penetra los tejidos (Macnish, 1994)

El hongo coloniza la planta de arroz al producir dos tipos de hifas: las de crecimiento y las infecciosas. Las hifas de crecimiento, oscuras y septadas con paredes gruesas, suelen crecer en la superficie de raíces y tallos formando hebras miceliales. Por otro lado, las hifas infecciosas son hialinas y con paredes delgadas, permitiendo su penetración en el tejido del huésped (Peixoto, 2013).

Identificación a Nivel de Especies

La familiaridad con la sintomatología y las estructuras del patógeno en el cultivo de arroz facilita su identificación en campo, al menos hasta el nivel de género. Al obtener un posible patógeno aislado, es crucial confirmar si corresponde con el organismo causante de la

sintomatología observada en campo. Las pruebas de patogenicidad son herramientas valiosas para este fin (Castaño, 1986). La patogenicidad se refiere a la alteración que un parásito induce en las funciones esenciales de la planta, y en muchas ocasiones, el parasitismo desempeña un papel importante en ello. Por ende, las pruebas de patogenicidad miden la capacidad de los organismos para causar esta alteración o parasitismo. En la mayoría de los casos, el parasitismo está vinculado estrechamente con la patogenicidad, ya que la habilidad del parásito para invadir y establecerse en su huésped suele resultar en el desarrollo de una enfermedad en este último. (AGRIOS, 2020)

El hongo *Gaeumannomyces graminis*, cuya presencia se registró en cultivos de trigo en Estados Unidos en 1994, fue inicialmente asociado con suelos de pH igual o superior a 5.5 como desencadenantes de la enfermedad. Sin embargo, investigaciones posteriores han revelado la influencia de múltiples factores, como temperaturas entre 15°C y 35°C, así como la dispersión a través de vientos y la presencia de malezas en el cultivo. A partir de 2004, se constató que este hongo también afecta diferentes malezas del grupo de las gramíneas, como *Leptochloa* sp., *Cynodon* sp., *Chloris* sp., *Pennisetum* sp., *Stenotaphrum* sp., *Triticum* sp. y *Axonopus* sp., que podrían funcionar como hospederos alternativos en los campos de arroz. Se ha demostrado que el hongo puede sobrevivir en residuos de cosecha y ser propagado por el agua y el viento (WALKER, 1975)

Los cultivos de arroz afectados por este hongo muestran síntomas como maduración rápida de los granos, debilitamiento de la planta, muerte de brotes y aparición de manchas marrón oscuro o negro en la vaina. Esto puede extenderse desde la base de la planta hacia arriba, ocasionando el Anaranjamiento de la lámina afectada (Whitney, 1990). La enfermedad puede tornarse severa, llegando incluso a la pérdida total de la planta. En los estadios iniciales de infección, es posible observar micelio café oscuro en la parte interna de las vainas de hojas afectadas y peritecios.

Figura 2

Variedades de Gaeumannomyces graminis



Fuente. Autores

Dentro del género *Gaeumannomyces graminis* se pueden encontrar tres variedades (*G. graminis*, *G. abenae* y *G. tritici*), todas con rango de huéspedes en gramíneas que se solapan (Barnett, 1985)

Este patógeno, *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx & Oliver, recientemente afectando arrozales, puede confundirse con otros patógenos como *Rhizoctonia solani* (Kühn), causante de la enfermedad Añublo de la Vaina, que puede impactar los rendimientos entre un 20% y un 80%. Factores como la susceptibilidad de las variedades cultivadas, las prácticas culturales y las condiciones ambientales que favorecen su desarrollo, han situado esta enfermedad como un problema relevante con la necesidad de control oportuno (Hernández, 2001).

Se plantea que el hongo *Gaeumannomyces graminis* tiene una estrecha relación con los microorganismos del suelo y la nutrición de la planta, y que factores como la densidad del inóculo

la composición del suelo y la presencia de malas hierbas y gramíneas pueden influir en la gravedad de la enfermedad (SMITH, 1998)

La severidad hace referencia a la estimación visual en la cual se establecen grados de infestación parcial o total en la planta llevándola en casos avanzados a su marchitamiento y muerte. Para evaluar la severidad nos basamos en la escala hecha por Ospina e Higuera adaptada de Echeverry Rico.

Metodología

Esta investigación se llevó a cabo en el centro experimental “Las Lagunas” de Fedearroz, ubicada en el municipio de Saldaña, Tolima, la cual está ubicada a una altitud de 308 msnm, con una temperatura promedio de 28 °C y una humedad relativa de alrededor de 80%, con una localización (3°54'46.9” N, 74°59'07.4” W).

Las dos cepas del hongo se obtuvieron del banco de germoplasma manejado por Fedearroz, al igual que las semillas de las dos variedades de arroz, para garantizar la calidad de semilla y la inocuidad en la investigación. Para aislar *Gaeumannomyces graminis* en los laboratorios de Fedearroz, fue esencial observar la presencia de peritecios en el tejido de la planta. Estos se extraen de las vainas de las hojas, se depositan en una gota de agua destilada estéril sobre un portaobjetos y se manipulan para liberar ascosporas. La suspensión resultante se extiende en un agar al 2% y se añaden 100 µg ml⁻¹ de sulfato de estreptomicina. Después de 24 horas, los aislados de ascosporas germinadas se trasladan al medio de cultivo PDA o agar agua con 100 µg ml⁻¹ de sulfato de estreptomicina para su mantenimiento. Los cultivos puros deben mantenerse en condiciones controladas y bajo estas circunstancias el hongo debería desarrollar peritecios en cuatro a seis semanas según Datnoff et al. (1997).

En el desarrollo de esta investigación trabajamos en una casa malla espacio en forma de casa rodeado con malla antifluido la cual frece un ambiente controlado y ayuda a aislar las plantas de un ambiente externo y evitar infestación de plagas adversas. Esta casa de mallas tiene una medida de 4 metros frente por 10 metros de fondo, dentro de la casa malla se establecieron unas áreas de investigación denominadas jaulas, las cuales son áreas de medidas de 2 metros de largo, 1,50 metros de ancho y 1,30 metros de alto con el fin de evitar contaminación por otras enfermedades. En cada una de estas jaulas se establecieron 9 materas las cuales estaban

compuestas por las dos cepas del hongo, 3 materas de la cepa Gg011, 3 materas de la cepa 123.6.18 y 3 materas del testigo.

Figura 3

Casa de malla



Fuente. Autores

Estas jaulas se hicieron con velo suizo y pegadas con velcro con medidas de 2 metros de largo, 1,50 metros de ancho y 1,30 de alto con el fin de evitar contaminación por otras enfermedades. En estas jaulas se realizó la inoculación de los tratamientos de *Gaeumannomyces graminis* siguiendo el protocolo aplicado por Fedearroz en la sede las lagunas. Para este proceso se evaluó de manera sistemática el comportamiento de las variedades de arroz frente a la enfermedad "mal de pie" y obtener datos precisos para el análisis de su resistencia y vaneamiento, contribuyendo así a la comprensión y manejo de esta enfermedad en los cultivos de arroz.

Figura 4*Jaulas experimentales*

Fuente. Autores

Unidad Muestral de las Jaulas

La unidad muestral estuvo compuesta por una matera en la cual se encuentran 5 plantas.

Tratamientos: El estudio contó con 3 tratamientos y se determinan de la siguiente manera:

T0: Materas sin inocular

T1: Inoculado con la cepa Gg011

T2: Inoculado con la cepa 123.6.18

Materiales

18 materas de 5 litros

18 bandejas de soporte con agua.

Turba estéril suministrada por Fedearroz.

Jaulas de 2 metros/1.30metros

Para llevar a cabo esta investigación, Fedearroz recolectó muestras de suelo y tejidos de plantas afectadas por la enfermedad "mal de pie" en campos de arroz ubicados en el municipio de Saldaña, Tolima, Colombia, donde obtuvimos la autorización para trabajar con las dos cepas anteriormente mencionadas.

Selección de Cepas y Variedades de Arroz

Como se mencionó anteriormente, se obtuvieron dos (2) cepas de *Gaeumannomyces graminis* de los laboratorios de Fedearroz, las cuales se obtuvieron de fuentes específicas de investigación de Fedearroz en el año 2007, y se utilizarán dos variedades de arroz, Fedearroz 67 y Fedearroz 60, como parte del experimento.

Caracterización de los Aislamientos

En el laboratorio, se procedió a la selección de los tratamientos de *Gaeumannomyces graminis* a partir de las muestras recolectadas por Fedearroz en el año 2021. para la inoculación del hongo se desarrolló con granos de avena durante 3 semanas para la colonización completa de cada uno de los tratamientos anteriormente separados y procesados por Fedearroz.

Figura 5

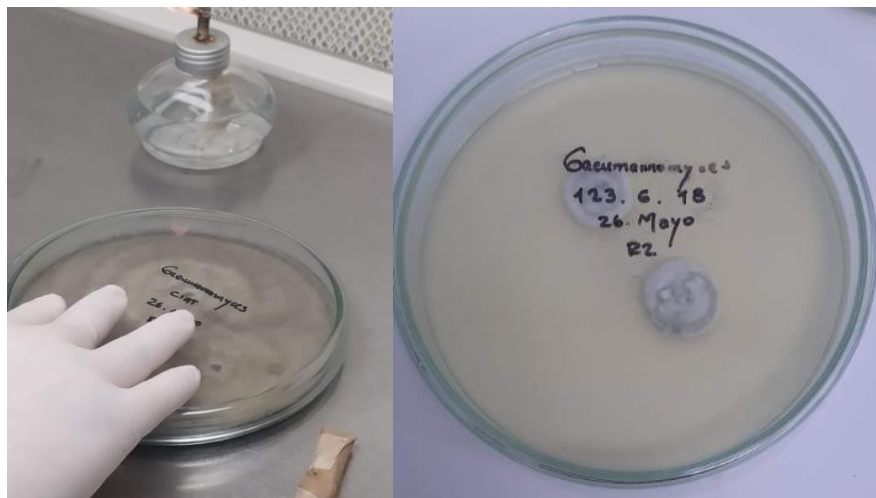
Activación de la cepa del hongo gaumannomyces



Fuente. Autores

Figura 6

Crecimiento del hongo



Fuente. Autores

Figura 7

Preparación del hongo para inocular los granos de avena



Fuente. Autores

Figura 8

*Granos de avena inoculados con las cepas del hongo *Gaeumannomyces graminis**



Fuente. Autores

Cada tratamiento del hongo *Gaeumannomyces graminis* se inoculó de forma manual en las respectivas materas asignados a las variedades a trabajar. Un tratamiento es una réplica de las cepas con dos repeticiones cada uno.

Figura 9

*Inoculación del hongo *Gaeumannomyces* en el suelo de cada una de las materas*



Fuente. Autores

Figura 10

Distribución de materas y siembra en jaulas



Nota: Las materas estaban debidamente diferenciadas cada variedad con un color, el color rojo corresponde a la variedad de arroz Fedearroz 67, el color azul a la variedad de arroz Fedearroz 60 y el color blanco a una variedad incluida para el estudio interno de fedearroz. *Fuente.* Autores

Evaluación del Rendimiento y Número de Macollas

Durante el desarrollo del estudio, se realizó un seguimiento minucioso donde se hicieron evaluaciones cada 8 días, teniendo en cuenta datos de peso, tamaño, número de macollas en cada una de las jaulas experimentales. Los datos que se usaron para el procesamiento fueron los que se tomaron a partir de la evaluación número 8, la cual fue realizada a los 60 días de inoculación del hongo, debido a que a partir de estos días se evidenciaron los primeros síntomas. Se realizaron por consiguiente mediciones a los 68 días, a los 76 días, a los 84 días, y a los 90 días.

Posteriormente, se llevó a cabo una comparación minuciosa de los resultados obtenidos entre las diferentes jaulas y variedades de arroz. Este análisis comparativo permitió identificar posibles diferencias en el crecimiento y la producción de grano entre las variedades evaluadas y en última instancia ayudó a determinar la resistencia relativa de Fedearroz 67 y Fedearroz 60 frente a la enfermedad "mal de pie".

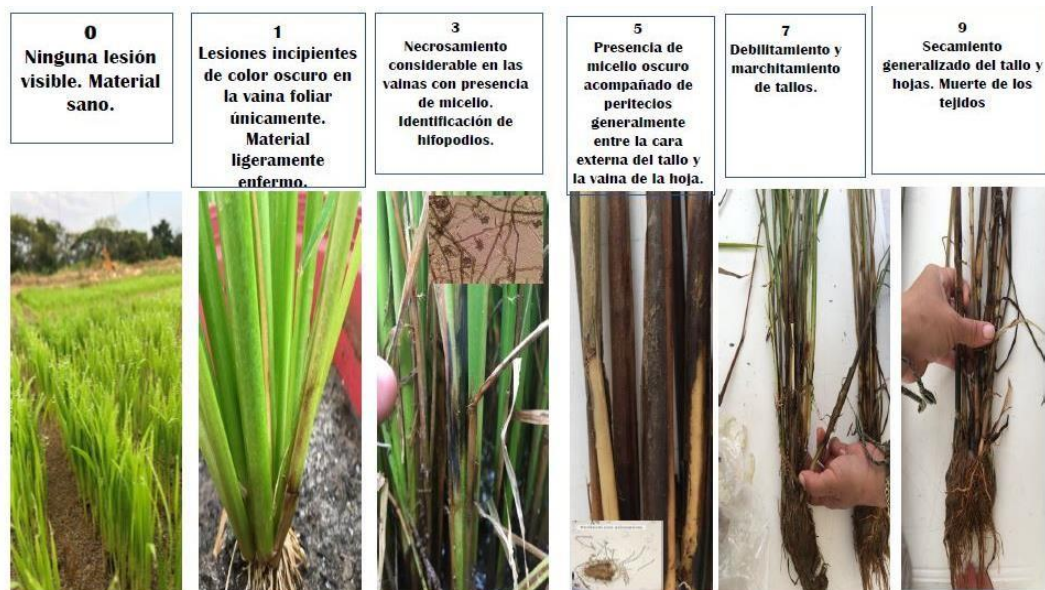
Evaluación de la Severidad de los Aislamientos

En el proceso de evaluación, se llevó a cabo la observación de síntomas en las plantas inoculadas con los aislamientos de *Gaeumannomyces graminis*, con el propósito de evaluar la severidad de dichos aislamientos. Este análisis permitió determinar la severidad de los síntomas en las plantas, contribuyendo a la caracterización del tratamiento y su impacto en las variedades de arroz Fedearroz 67 y Fedearroz 60, en el contexto de la enfermedad "mal de pie".

Para el desarrollo de estas evaluaciones se trabajó sobre la escala de evaluación adaptada de Echeverry 2019. La anterior referencia fue adaptada de Ospina & Higuera (2007) y realizada por Echeverry Rico, esta última no se ha publicado aún y se encuentra en proceso. Esta escala tiene una enumeración de 0 a 9, donde hace referencia a que (0) no tiene ninguna lesión visible material sano, (1) lesiones incipientes de color oscuro en la vaina foliar ligeramente enfermo, (3) evidencia de necrosamiento considerable en las vainas con presencia de micelio, (5) presencia de micelio oscuro acompañado de peritecios en el tallo y la vaina de la hoja, (7) debilitamiento y marchitamiento de tallos, (9) secamiento generalizado del tallo y hojas muerte de los tejidos.

Figura 11

Escala de severidad del hongo Gaumannomyces graminis en el arroz



Fuente. Rico (2019)

Figura 12

Sintomatología del hongo Gaumannomyces en la planta



Fuente. Autores

Análisis Estadístico

El proceso de la información obtenida en campo se hizo mediante el programa MINITAB (programa de paquete estadístico), se realizan análisis estadísticos para detectar diferencias significativas en el rendimiento y el número de macollas entre jaulas y variedades, utilizando pruebas de comparación de medias como ANOVA. También se investiga la relación entre la severidad de los aislamientos y los síntomas en las plantas mediante análisis de correlación, en este programa de Minitab analizamos macollas, tratamientos y severidad, por medio del ANOVA y prueba Tukey, lo que permite reconocer si existen o no, diferencias significativas entre los resultados obtenidos.

Interpretación de Resultados

La interpretación de los resultados obtenidos revela las respuestas de las variedades de arroz, Fedearroz 67 y Fedearroz 60, frente a los distintos tratamientos de *Gaeumannomyces graminis*, dando evidencia sobre el grado de severidad por la enfermedad "mal de pie" entre los tratamientos y la manifestación de síntomas en las plantas, proporcionando información crucial para la comprensión y gestión de esta enfermedad en los cultivos de arroz, lo que llevó a identificar estrategias más efectivas de manejo y selección de variedades resistentes.

Resultados

Con los datos obtenidos a través de la observación de 3 parámetros claves como el rendimiento del grano, el número de macollas y grado de severidad, se realizaron 12 evaluaciones, de las cuales se empezaron a tomar los datos a partir de los 60 días de la inoculación del hongo y repitiéndose cada 8 días. En la mayoría de las evaluaciones se notaron datos muy similares, siendo la última evaluación a los 96 días la que mostró más diferencia. A continuación, observamos los datos obtenidos.

Parámetros Evaluados

Conteo de Macollas

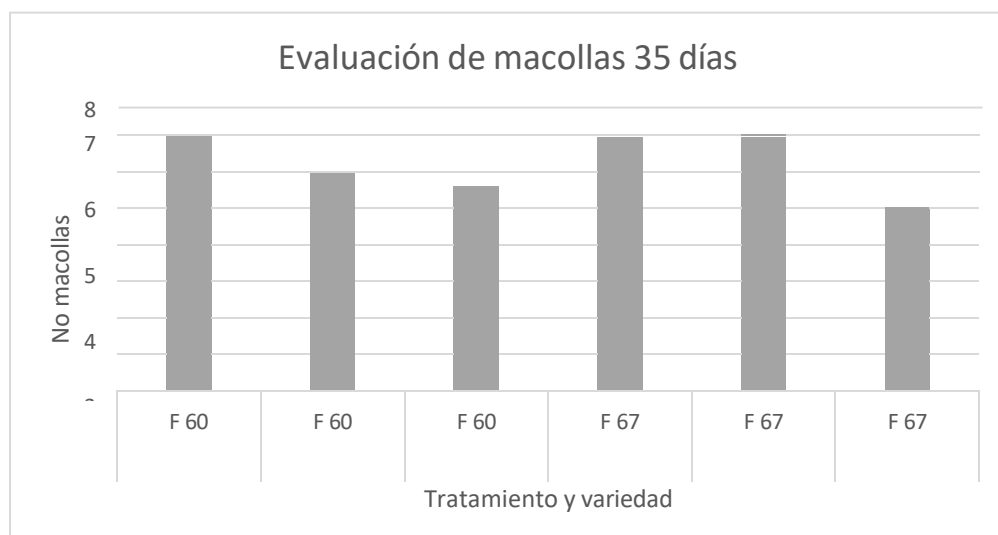
A continuación, se pueden observar los datos obtenidos en las 2 evaluaciones que se realizaron para este parámetro. La primera a los 35 días de germinado y la segunda a los 60 días. En las 6 materas realizamos conteos por cada una de las 4 plantas que habían y registramos los datos obtenidos.

Tabla 1

Primera evaluación de macollas a los 35 días

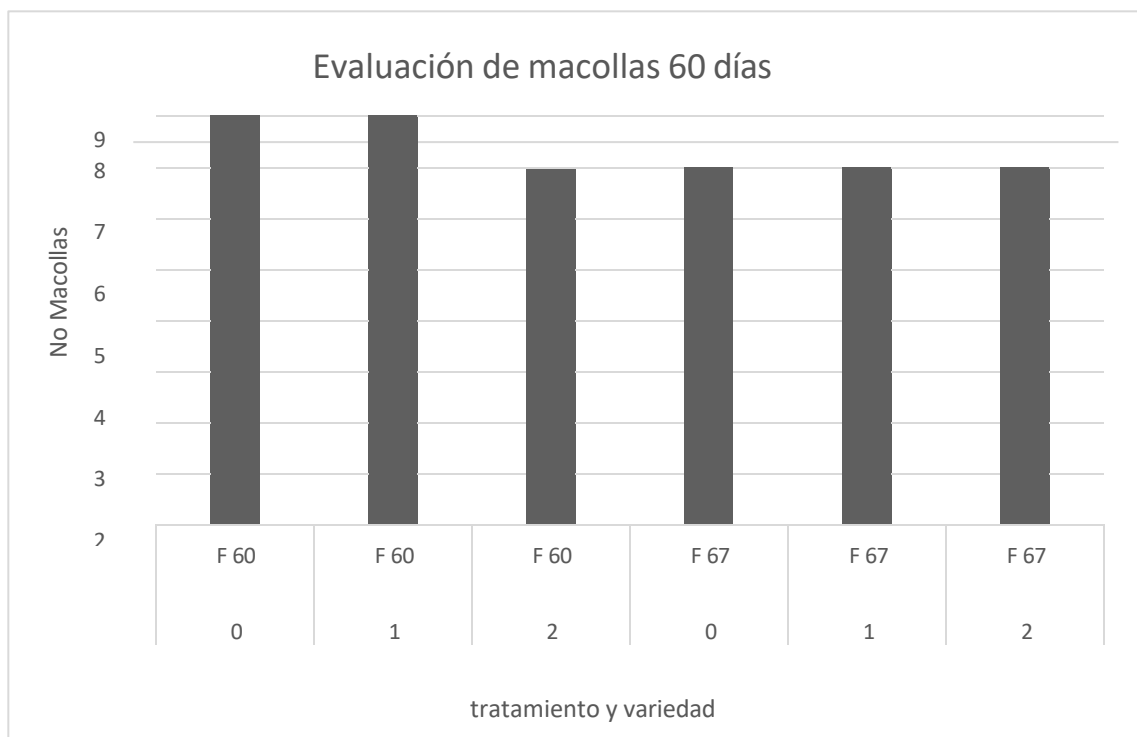
Tratamiento	Variedad	Número macollas
0	F 60	6.66
1	F 60	5.91
2	F 60	5.58
0	F 67	6.91
1	F 67	7.08
2	F 67	5.16

Fuente. Autores

Figura 13*Evaluación 35 días.**Fuente. Autores***Tabla 2***Segunda evaluación de conteo de macollas a los 60 días*

Tratamiento	Variedad	Número macollas
0	F 60	8.08
1	F 60	8.33
2	F 60	6.91
0	F 67	7.16
1	F 67	7.25
2	F 67	7.16

Fuente. Autores

Figura 14*Evaluación de macollas 60 días**Fuente. Autores*

Observamos que el tratamiento 1 obtuvo un porcentaje de 6,167 y el tratamiento 2 con el 6,250 siendo así el tratamiento 2 con un porcentaje mayor según la media.

Al comparar las dos evaluaciones realizadas se deduce que en el conteo de macollas, el tratamiento 1 es de mayor afectación en la primera evaluación a los 35 días, con un 7,25 en la variedad F 67 y la segunda evaluación a los 60 días, con un 8,75 en la variedad F 60 y el menos agresivo es el 2 en la primera evaluación con 6,75 y en la segunda evaluación 6,25, las dos evaluaciones en la variedad F 60.

Severidad

Se realizaron evaluaciones a partir de la inoculación del hongo a los 11 días con la semilla de arroz, realizando así doce evaluaciones, una cada semana, la cual se tomaron en cuenta desde la

evaluación a los 60 días a partir de esta se generaron 5 evaluaciones más, a los 68 días, 76 días, 84 días y 92 días. Presentando severidad del daño a los 60 días de inoculación del hongo. Como resultado se obtuvieron las siguientes tablas.

Tabla 3

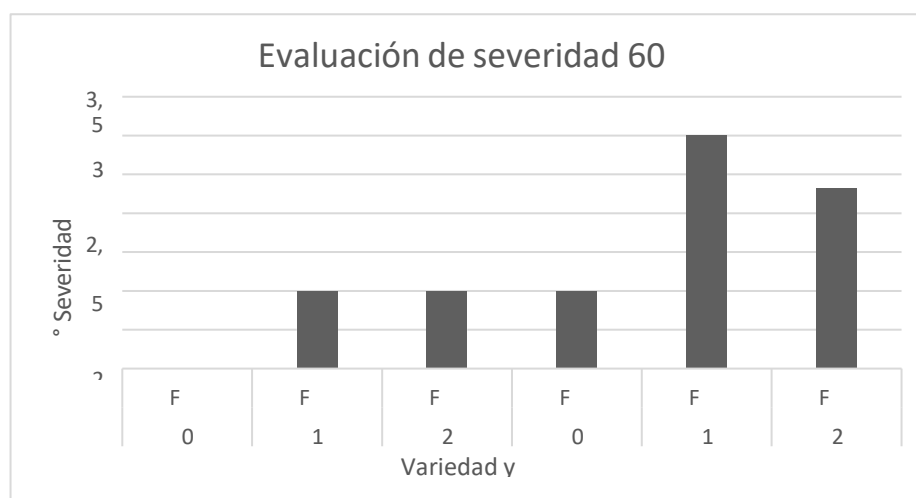
Primera evaluación grado de severidad 60 días

Tratamiento	Variedad	° Severidad
0	F 60	0
1	F 60	1
2	F 60	1
0	F 67	1
1	F 67	3
2	F 67	2.33

Fuente. Autores

Figura 15

Evaluación de severidad 60 días



Fuente. Autores

Tabla 4*Segunda evaluación grado de severidad 68 días.*

Tratamiento	Variedad	° Severidad
0	F 60	0
1	F 60	1
2	F 60	1.66
0	F 67	1
1	F 67	3
2	F 67	3

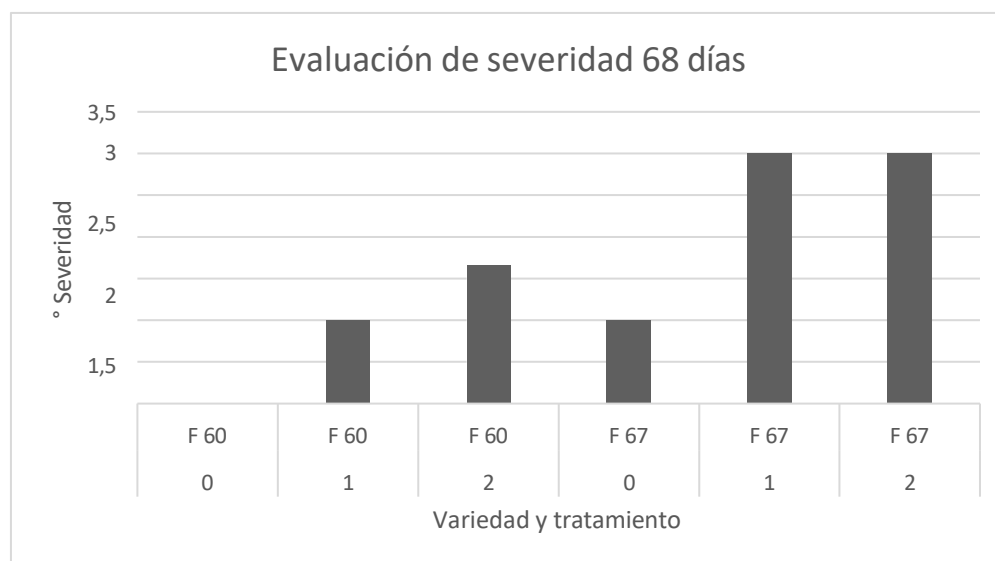
*Fuente. Autores***Figura 16***Evaluación de severidad 68 días**Fuente. Autores*

Tabla 5*Evaluación de severidad a los 76 días*

Tratamiento	Variiedad	° Severidad
0	F 60	0
1	F 60	5
2	F 60	3.66
0	F 67	0.66
1	F 67	5
2	F 67	4.33

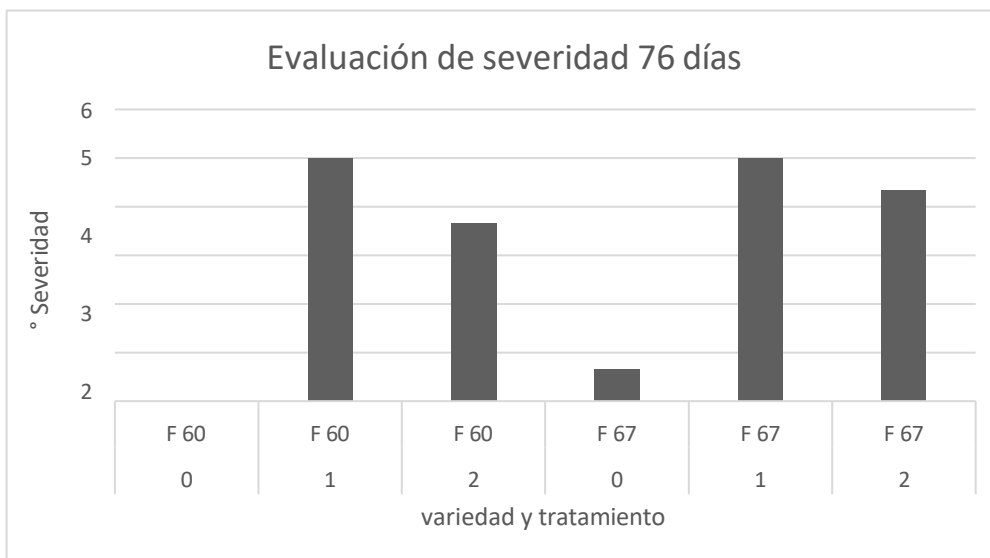
*Fuente. Autores***Figura 17***Evaluación de severidad 76 días**Fuente. Autores*

Tabla 6*Cuarta evaluación grado de severidad 84 días*

Tratamiento	Variedad	° Severidad
0	F 60	1
1	F 60	5
2	F 60	3.66
0	F 67	1
1	F 67	5
2	F 67	5

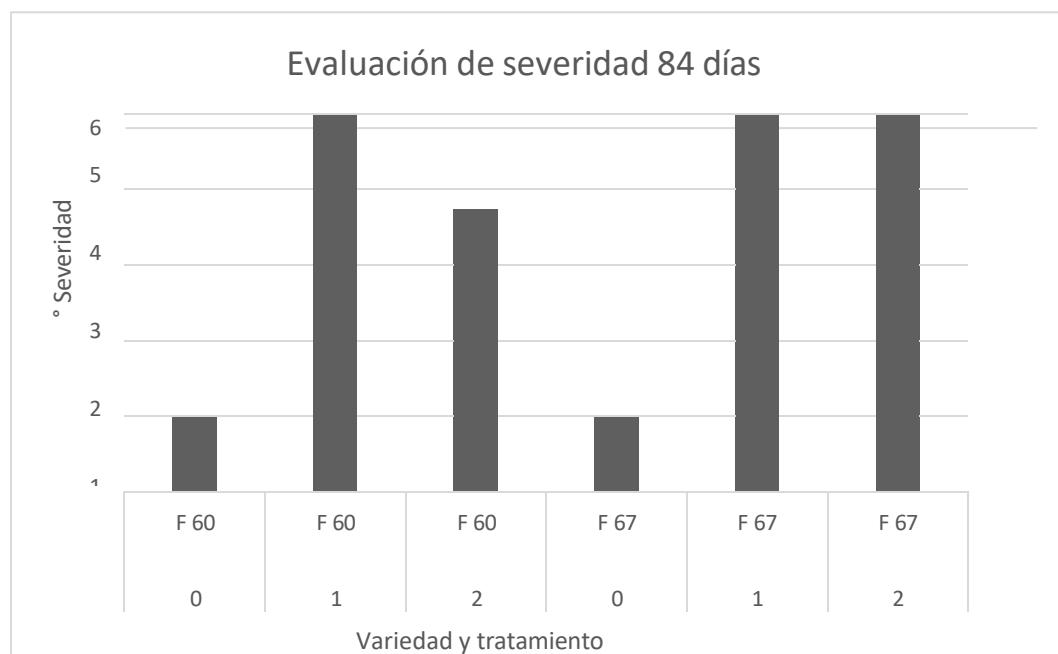
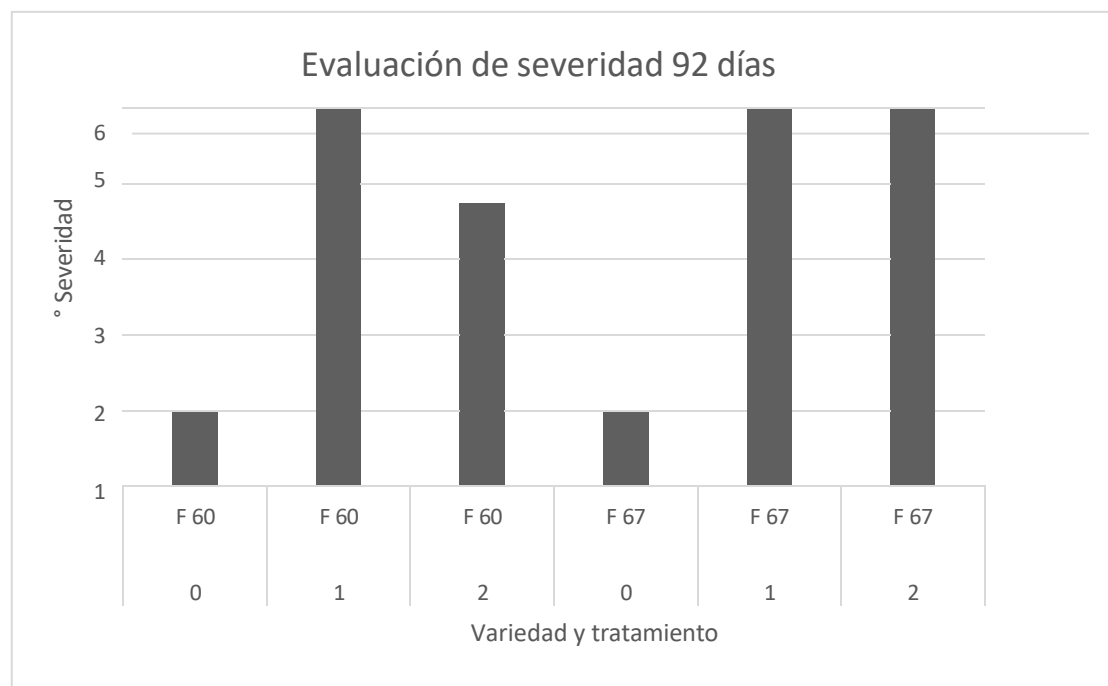
*Fuente. Autores***Figura 18***Evaluación de severidad 84 días**Fuente. Autores*

Tabla 7*Quinta evaluación grado de severidad 92 días*

Tratamiento	Variedad	° Severidad
0	F 60	1
1	F 60	5
2	F 60	3.66
0	F 67	1
1	F 67	5
2	F 67	5

*Fuente. Autores***Figura 19***Evaluación de severidad 92 días**Fuente. Autores*

Se realizaron evaluaciones cada semana en las cuales a partir de los 96 días de inoculación se empezó a evidenciar el incremento de severidad, donde se observó una severidad de 5 en el tratamiento 1 correspondiente a la variedad F 67, por lo cual el grado de severidad aumenta en este tratamiento (1) Gg011 mientras que el tratamiento (123.6.18) con un grado de severidad de 5 en todas las réplicas de la variedad de arroz F 67, menos en la variedad F 60, por ende es un tratamiento menos agresivo, mostrando así más resistencia la variedad de arroz F 60. El menor grado de severidad se evidencio en el tratamiento 0.

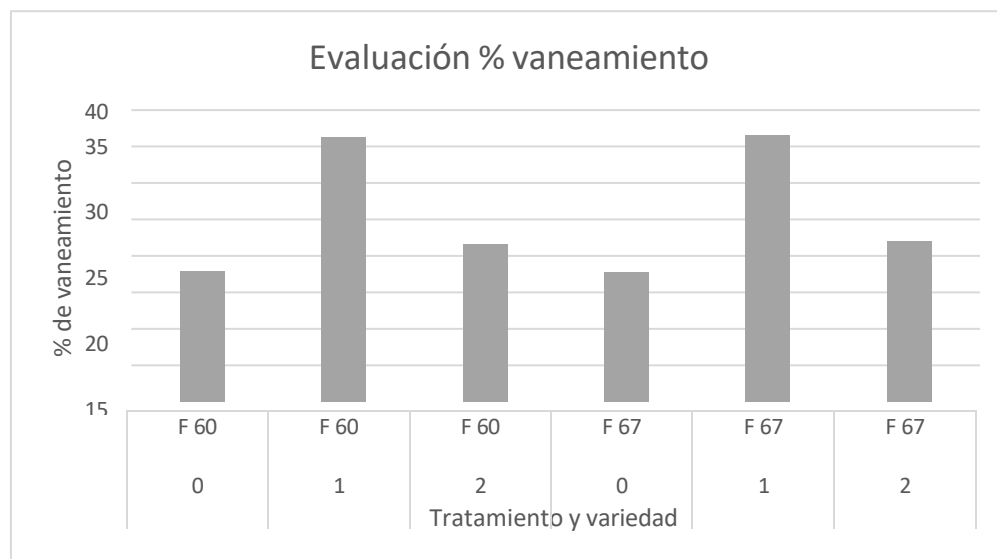
Siendo así, podemos demostrar que la cepa del hongo *Gaeumannomyces graminis* que más afecta los parámetros a evaluar, es la evidenciada en el tratamiento 1(Gg011) con un grado de severidad de 5 en las dos variedades de arroz (F 60, F 67) como todas sus 3 réplicas. También podemos concluir que la cepa menos agresiva es la del tratamiento 2 (123.6.18), con un grado de severidad de 5 pero no en todas sus réplicas, ya que se evidenció que en la réplica 1 de la variedad de arroz F 60 obtuvo un grado de severidad de 1 siendo está, la variedad de arroz F 60 más resistente al hongo y menos susceptible a la enfermedad.

Rendimiento de Grano

Una vez la planta culminó su fase de producción, se procedió a contar el número de granos por panícula, para realizar proyección de rendimiento. El porcentaje de rendimiento utilizando la fórmula de total de granos llenos x100, dividido en el total de granos (vanos y llenos).

Tabla 8*Evaluación de rendimiento de grano a los 100 días*

Tratamiento	Variedad	% Vaneamiento
0	F 60	17.9
1	F 60	36.31
2	F 60	21.58
0	F 67	17.74
1	F 67	36.6
2	F 67	21.98

*Fuente. Autores***Figura 20***Evaluación % vaneamiento a los 100 días**Fuente. Autores*

Análisis de Resultados de Vaneamiento

El porcentaje de vaneamiento para el tratamiento 1, es alto por lo cual deducimos que en esta evaluación se evidenció más influencia el hongo y finalmente es la etapa donde nos representa más pérdidas, ya que es la última etapa del cultivo. En este tratamiento se obtuvieron mejores resultados, ya que disminuyó la cantidad de granos vanos y estos tenían mejor peso. Aunque no fue un porcentaje bueno fue el que mejor tuvo resultado entre los dos tratamientos evaluados. El tratamiento 0 podemos observar el índice de vaneamiento más bajo, aunque se esperaba un mejor resultado, se deduce que las condiciones ambientales influyen en su óptimo desarrollo.

A nivel general podemos observar que la cepa que genera mayor vaneamiento es el tratamiento 1, en la variedad F 67, replica 3 con un porcentaje de 36,76%. El tratamiento que menos tiene afectaciones es el 0 con un porcentaje de 17,22 en la variedad F 60 replica 3 y el tratamiento 2 tuvo una resistencia mayor con menor afectación. Siendo así el tratamiento 2 el más resistente y con menor índice de vaneamiento en la variedad F 60 replica 3 con un porcentaje de 21,10%.

Análisis Estadístico

Para los parámetros establecidos para macollamiento, severidad y vaneamiento, se realizó un procesamiento estadístico realizando un análisis ANOVA y aplicación de la prueba Tukey, que permitan reconocer diferencias significativas y parámetros de análisis para la investigación. Para esto, se utilizó el programa de Minitab, en su versión gratuita, donde se pudo observar las agrupaciones pertenecientes a cada resultado indicándonos si los resultados tienen diferencias significativas.

*Análisis para Macollamiento***Tabla 9***Análisis de varianza macolla*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamiento	2	0,2708	0,1354	0,14	0,867
Error	15	14,1354	0,9424		
Total	17	14,4062			

*Fuente. Autores***Tabla 10***Medias macolla*

Tratamiento	N	Medias	Desv. Est.	IC de 95%
0	6	6,458	1,145	(5,614; 7,303)
1	6	6,167	0,606	(5,322; 7,011)
2	6	6,250	1,072	(5,405; 7,095)

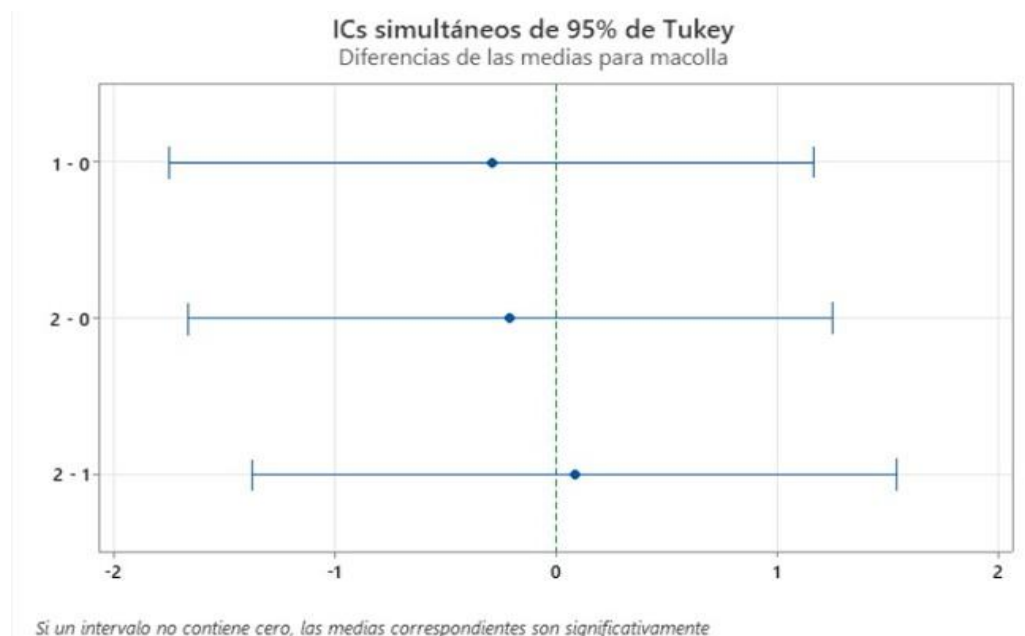
*Nota. Desv.est. agrupada= 0,970753. Fuente. Autores.***Tabla 11***Comparaciones en parejas en Tukey para Macolla*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
0	6	6,458	A
1	6	6,250	A
2	6	6,167	A

Nota. Información agrupada utilizando el método Tukey una confianza de 95%. Fuente. Autores

Tabla 12*Anova macolla vs tratamiento*

Variable	Tratamiento	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Macolla		6	0	6,458	0,467	1,144	5	6,5	8
	1	6	0	6,166	0,247	0,605	5,5	6	7
	2	6	0	6,25	0,437	1,072	4,5	6,125	7,5

*Fuente. Autores***Figura 21***Diferencia de las medias para macolla**Fuente. Autores***Análisis Estadístico Tukey Macolla**

Teniendo en cuenta la información referida por el programa al aplicar la prueba Tukey, evidenciamos que los tres tratamientos comparten una misma letra (A), por lo cual, podemos determinar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo,

podemos evidenciar que el tratamiento 0, tiene una media de 6,458, siendo la de mayor macollamiento, y el tratamiento 2, cuenta con una media de 6,167, por lo cual es la que menor macollamiento y afectación tuvo en los tratamientos.

Análisis De Severidad

Tabla 13

Análisis de varianza severidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamiento	2	10,89	5,447	2,58	0,109
Error	15	31,67	2,111		
Total	17	42,56			

Fuente. Autores

Tabla 14

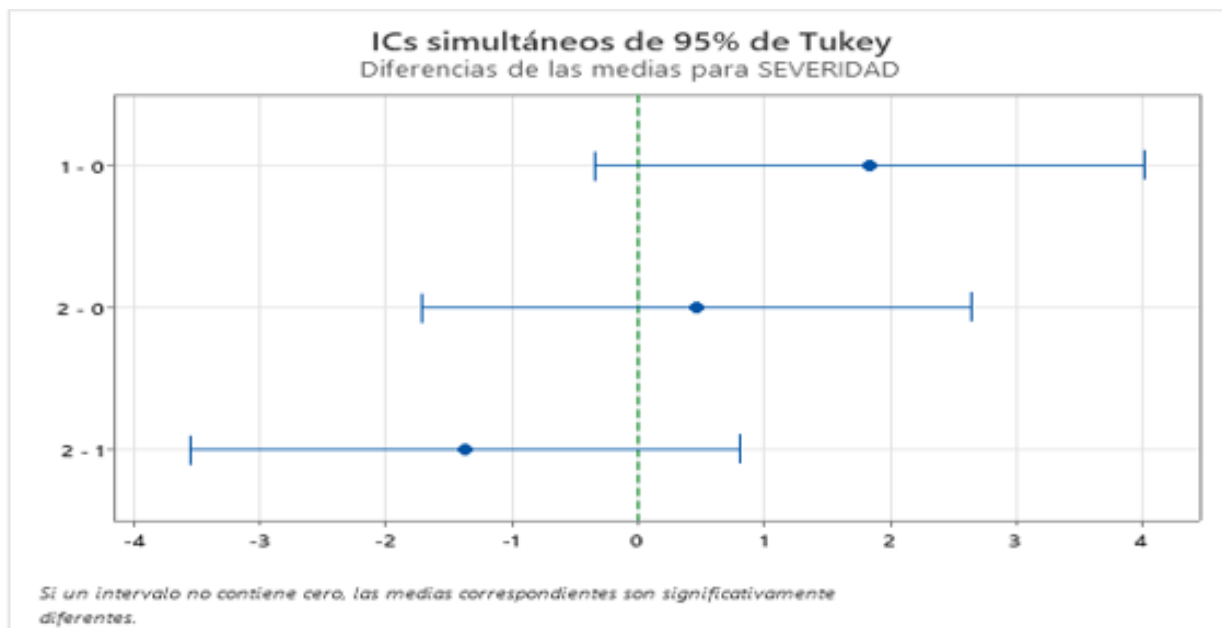
Medias severidad

Tratamiento	N	Medias	Desv. Est.	IC de 95%
0	6	1,833	1,376	(0,569; 3,098)
1	6	3,667	0,327	(2,402; 4,931)
2	6	2,300	12,081	(1,036; 3,564)

Nota. Desv.Est. agrupada = 1,45297. Fuente. Autores

Tabla 15*Comparaciones en parejas de Tukey severidad*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
0	6	3,667	A
1	6	2,300	A
2	6	1,833	A

*Fuente. Autores***Figura 22***Diferencia de las medias para severidad**Fuente. Autores****Análisis Estadístico Tukey Severidad***

Teniendo en cuenta la información referente por el programa usado al aplicar la prueba Tukey, observamos que los tres tratamientos están dentro de la misma agrupación (A), por lo cual se determina que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo,

podemos demostrar que el tratamiento 0, tiene una media de 3,667, teniendo la mayor severidad, y el tratamiento 2, cuenta con una media de 1,833, por lo cual es la que menor severidad y afectación tuvo en los tratamientos.

Análisis Para Vaneamiento

El vaneamiento es el efecto en la cual el grano queda vacío por factores de cambios climáticos (sequía y altas temperaturas). Esta información se obtuvo implementando la fórmula de vaneamiento la cual consiste en la cantidad de granos llenos x granos vanos, divididos el total de granos x 100.

Figura 23

Anova vaneamiento vs tratamiento

Variable	Tratamiento	N	N *	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Media	Máximo
Vaneamiento	0	6	0	17,825	0,231	0,566	17,22	17,665	18,82
	1	6	0	36,458	0,084	0,208	36,22	36,5	36,76
	2	6	0	23,451	1,585	3,883	21,1	22,105	31,11

Fuente. Autores

Tabla 16*Análisis de varianza vaneamiento*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tratamiento	2	1096,07	548,034	106,43	0,000
Error	15	77,24	5,149		
Total	17	1173,31			

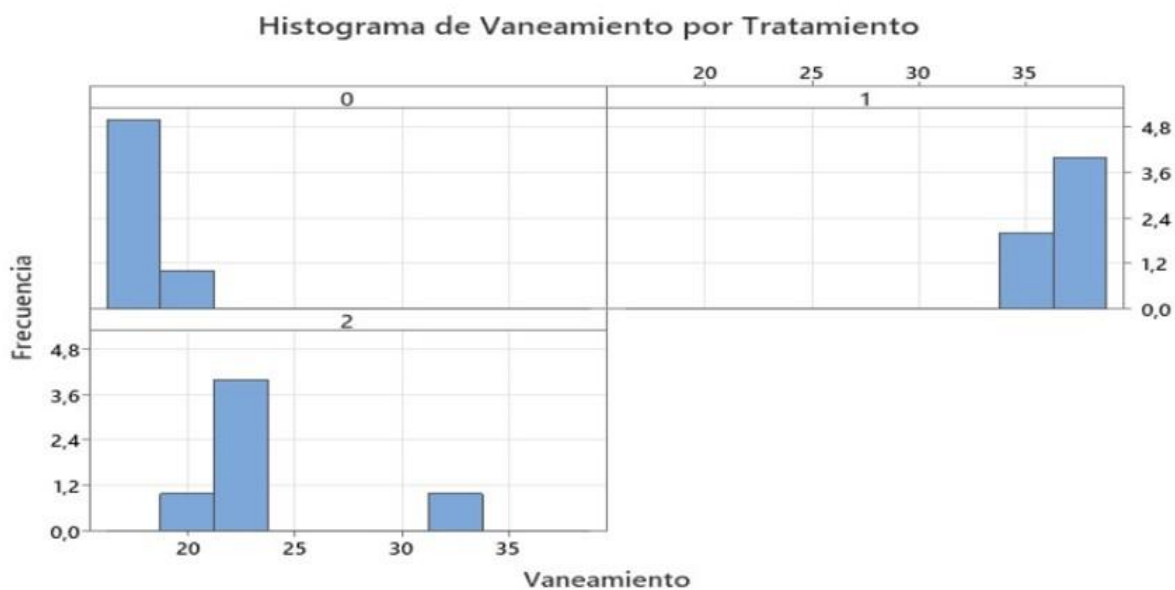
*Fuente. Autores***Figura 24***Histograma de vaneamiento por tratamiento**Variable de panel: Tratamiento**Fuente. Autores*

Tabla 17*Medias vaneamiento*

Tratamiento	N	Medias	Desv. Est.	IC de 95%
0	6	17,835	0,566	(15,850; 19,800)
1	6	36,4583	0,2081	(34,4838; 38,4329)
2	6	23,45	3,88	(21,48; 25,43)

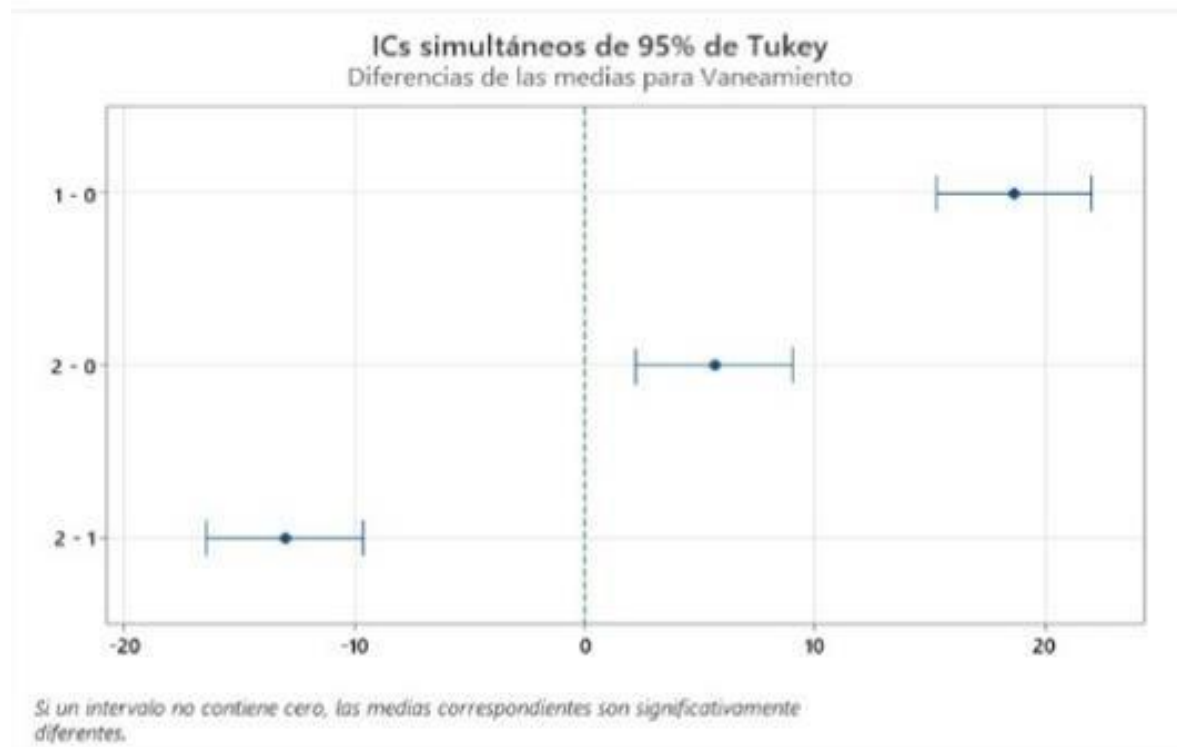
Nota. Desv. Est. Agrupada= 2,26919. *Fuente.* Autores

Tabla 18*Comparaciones en parejas en Tukey vaneamiento*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
0	6	36,4583	A
1	6	23,45	B
2	6	17,825	C

Nota. Información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%. *Fuente.*

Autores

Figura 25*Diferencia de las medias para vaneamiento**Fuente. Autores***Análisis estadístico Vaneamiento Tukey**

Tras el análisis de Tukey observamos que los datos tenían diferencias significativas debido a que pertenecen a grupos de letras diferentes (A, B, C) Siendo el tratamiento 0 perteneciente a la agrupación A con una media de 36,4583, el tratamiento en la agrupación B con una media de 23,45 y con un resultado más bajo el tratamiento 2 en la agrupación C con una media de 17,825. Lo que nos indica que si se encuentran diferencias significativas en esta comparación.

Conclusiones

En este estudio, se evaluaron dos tratamientos aplicados a las variedades de arroz Fedearroz 60 y Fedearroz 67 para identificar el grado la severidad en cada una de las variedades que eran objeto de estudio. A través de diversas evaluaciones, se obtuvieron resultados significativos en términos de rendimiento y producción de macollas, destacándose notables diferencias en los datos debido a la agresividad de cada tratamiento.

Dicho de otra manera, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en términos de rendimiento y número de macollas. En la variedad Fedearroz 67, se evidenció que el tratamiento 1 (Gg011) resultó ser el más agresivo, con un promedio de 7,25 en número de macollas. Por otro lado, el tratamiento 2 (123.6.18) menos agresivo, mostró un promedio de 6,75 en número de macollas en la variedad Fedearroz 60. Por tal motivo, se evidencia que la F67, tuvo resultados más negativos, frente a la F60 en cuanto a afectación de macollamiento y rendimiento; como resultado final se evidencia que durante el desarrollo del proyecto la variedad F 67 fue más susceptible en términos anteriormente nombrados.

En suma, el vaneamiento siendo un indicador crucial del vigor de las plantas, reveló que el tratamiento 1, exhibe una mayor agresividad en ambas variedades (F 67-F 60), en la variedad Fedearroz 67, el tratamiento 1 (Gg011) provocó un vaneamiento del 36.6%, mientras que el tratamiento 2(123.6.18) tuvo un vaneamiento de 21,98%; en la variedad F 60 tratamiento 1 se(Gg011) tuvo un vaneamiento de 36,3 mientras que el tratamiento 2 (123.6.18) tuvo un vaneamiento de 21,58%.

Debido a, que la cepa del hongo *Gaeumannomyces graminis* utilizada en el tratamiento 1 (Gg011) mostró un alto porcentaje de severidad del 30%, lo cual produjo una afectación

significativa; en la variedad F 67 en el tratamiento 2 (123.6.18), obtuvo índice de severidad del 15%, demostró ser menos agresivo y contribuyó a una mayor resistencia en la variedad F 60.

Es decir, que el tratamiento 1 es identificado como el más agresivo, obteniendo una media de severidad de 3,667. en comparación con el tratamiento 2, que presentó una media de 2,300. Además, el tratamiento 1 (Gg011) también mostró el porcentaje más alto de vaneamiento (36,4583%) frente al tratamiento 2 (123.6.18) (23,45%). Estos resultados se obtuvieron para ambas variedades de arroz (F 60-F 67)

Para concluir, evidenciamos que el tratamiento 1(Gg011) es claramente más agresivo que el tratamiento 2(123.6.18), con mayores porcentajes de severidad en macollas y vaneamiento de grano en ambas variedades de arroz (Fedearroz 60 y Fedearroz 67). Estos resultados fueron fundamentales para entender las dinámicas entre los tratamientos y las variedades de arroz, ya que proporcionan una base sólida a la hora de tomar decisiones en cuanto al manejo de enfermedades en el cultivo del arroz.

Recomendaciones

Se sugiere establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar la incidencia y severidad del "mal de pie" en los campos de arroz del sur del Tolima, lo que permitiría obtener valores relevantes para tomar decisiones a tiempo y contar con una respuesta oportuna a cambios en la propagación de la enfermedad.

Además, es esencial continuar con la caracterización detallada de las cepas de *Gaeumannomyces graminis* presentes en la región mediante técnicas moleculares y morfológicas. Esto proporcionará información valiosa sobre su diversidad genética y agresividad. Esto se continúa fortaleciendo estudios por parte de centros de investigación y trabajos de grado universitarios, fortaleciendo la identificación de los síntomas de la enfermedad en diferentes materiales de reproducción.

Se recomienda llevar a cabo estudios exhaustivos para evaluar cómo diferentes variedades de arroz responden a las cepas de *Gaeumannomyces graminis*, lo que permitirá identificar variedades más resistentes y facilitar la selección de cultivos adecuados.

Es importante promover programas de educación y capacitación dirigidos a los agricultores para mejorar su conocimiento sobre prácticas de manejo y control de enfermedades, así como ofrecer información actualizada sobre estrategias de cultivo y prevención; Dentro de estas prácticas realizar análisis de suelos continuos(anual), sembrar semilla certificada y resistentes a la enfermedad, sugerir una buena nivelación y preparación del suelo e incorporar Trichoderma al suelo y en la descomposición de materia orgánica después de cada cosecha.

Se deberían investigar y desarrollar estrategias de control biológico efectivas contra *Gaeumannomyces graminis*, explorando opciones como agentes de control biológico naturales y productos biológicos.

Implementar prácticas adecuadas de manejo de residuos de cosecha de arroz, como la quema controlada o la incorporación en el suelo, con el fin de reducir la persistencia del patógeno en los campos.

Fomentar la investigación a largo plazo en epidemiología y genética de *Gaeumannomyces graminis*, lo que proporcionaría información valiosa para el desarrollo de estrategias de manejo y control a largo plazo.

Establecer colaboraciones interinstitucionales y redes de investigación para compartir conocimientos y recursos, lo que puede acelerar el progreso en la comprensión y gestión del "mal de pie" en los cultivos de arroz del Tolima.

Referencias

- Barnett, H. L. (1985). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Macmillan Publishing Company.
- Cannon, P. F. (1994). *Gaeumannomyces*. En: *The Families and Genera of Vascular Plants* (vol.1). *Springer*.
- Cook, R. J. (2003). Take-all of wheat. *Physiological Plant Pathology*, 63(2), 64-72. FAO. (2018, abril). *Seguimiento del Mercado del Arroz de la FAO* (SMA).
<http://www.fao.org/3/I9243ES/i9243es.pdf>
- FEDEARROZ. (2009). *Añubulo bacterial de la panícula*.
http://www.fedearroz.com.co/documentos/2009/Aniublo_bacterial.pdf
- FEDEARROZ. (2019). *Consumo de Arroz en Colombia Desde 2000 hasta 2019 Kg*.
<http://www.fedearroz.com.co/new/consumo.php>
- Hernández, A., & Ospina, B. M. (2001). Enfermedades del arroz (*Oryza sativa* L.) en Colombia: importancia, distribución y efecto de prácticas culturales. *Agronomía Colombiana*, 18(2), 202-211.
- Ospina, B. M. (2009). *Caracterización de aislamientos de Gaeumannomyces graminis var. tritici (Ggt) de diferentes regiones arroceras de Colombia*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- Peixoto, J. R., Marinho, R. M., Oliveira, D. A., & Ojeda, F. P. (2013). *Gaeumannomyces graminis var. graminis*: Variação patogênica em duas áreas de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 12(1), 39-47.
- Smith, R. J., Fletcher, R. A., & Jeffries, P. (1988). Survival of *Gaeumannomyces graminis var. tritici* and other fungi in the phyllosphere of wheat and barley. *Plant Pathology*, 37(4), 539-549.