



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Elaboración de escalas diagramáticas  
de severidad en hoja y tallos para  
evaluar la enfermedad “mal del pie”  
*Gaeumannomyces graminis* Sacc.)  
Von Arx & d. Oliver var. *graminis* en  
diferentes estados fenológicos del  
arroz**

**LEONARDO SALAZAR ZULUAGA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
COORDINACION GENERAL DE POSGRADOS  
PALMIRA, COLOMBIA**

**2014**



**Elaboración de escalas diagramáticas  
de severidad en hoja y tallos para  
evaluar la enfermedad “mal del pie”  
*Gaeumannomyces graminis* Sacc.)  
Von Arx & d. Oliver var. *graminis* en  
diferentes estados fenológicos del  
arroz**

**LEONARDO SALAZAR ZULUAGA**

Tesis de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ciencias Agrarias**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

**Protección de Cultivos**

DIRECTOR:

**MANUEL JOSÉ PELÁEZ PELÁEZ,  
I.A., PhD**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
COORDINACION GENERAL DE POSGRADOS  
PALMIRA, COLOMBIA**

**2014**







*Dedicado a:*

*Mi Madre y hermana, seres especiales que con su ejemplo, influyen positivamente en mi vida.*

*A mi esposa Yenny y mi hijo Nicolás que me impulsan a ser mejor día a día.*



# Agradecimientos

A Dios por todas las bendiciones recibidas.

A mi familia por su apoyo permanente.

A la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, especialmente a los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por contribuir a mi formación profesional.

A la empresa Arrocería la Esmeralda S, A, por su apoyo en mis estudios.

A la familia Suso Domínguez por facilitar sus cultivos para el desarrollo de esta investigación.

Al doctor Manuel José Peláez P. por su contribución y apoyo a esta tesis.

Al Dr. Gustavo Adolfo Prado. Fitopatólogo, programa Arroz, CIAT por su orientación y apoyo constante.



## Resumen

Recientemente en lotes comerciales de arroz en los departamentos de Tolima y el Valle del Cauca en Colombia, han aparecido ataques severos del hongo ascomiceto *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx & Oliver var. *graminis*, causando enfermedad "Mal del pie", la cual acarrea acame de las plantas. El patosistema se reconoce por una marcada decoloración castaño-rojiza en las hojas, coloración café-negra en la línea del agua, y la aparición de peritecios en los tallos. En la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira se adelantaron estudios a nivel de laboratorio e invernadero, concernientes en reconocer los estadios iniciales de la patogénesis del agente causal, con fines de diseñar una escala de reacciones crecientes en 6 grados la enfermedad tanto en tallos como hojas, para facilitar evaluación de germoplasma tolerante o resistente. En el estudio se utilizó variedades de arroz susceptibles PANORAMA 2008 y FEDEARROZ 60, y como inóculo cepas altamente agresivas provenientes de arrozceras Jamundí y Santander de Quilichao. En laboratorio se evaluó el crecimiento del hongo y la colonización en inoculaciones a los 30, 45, 70 y 90 días después germinadas las plantas. Con una escala extendida BBCH se hizo el seguimiento fenológico de la planta, determinándose como los estadios más susceptible al ataque del hongo los primeros S1-S5. En campo se validaron las escalas diseñadas, siendo aplicadas por tres grupos de evaluadores con grado diferencial de experticia en cuantificar patosistemas, representados por estudiantes avanzados de posgrado en epidemiología vegetal (Grupo de prueba 1- testigo), técnicos arrozceros entrenados debidamente en el manejo de la escala (Grupo de prueba-2) y agricultores arrozceros con poca instrucción en el manejo de la escala (Grupo de prueba-3). Los grupos de evaluadores no presentaron diferencia estadística significativa, lo que demuestra la precisión de las dos escalas propuestas.

**Palabras clave:** mal de pie en arroz, *Gaeumannomyces graminis*, escalas de reacciones crecientes, escala de severidad, cuantificación de enfermedades.

## Abstract

Recently in commercial rice fields in the departments of Tolima and Valle del Cauca in Colombia, there have been severe attacks ascomycete *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx & Oliver var. *graminis*, causing disease "Bad Foot" which carries flattens plants. The pathosystem is recognized by a distinct reddish-brown discoloration in the leaves, black-brown discoloration in the water line, and the appearance of perithecia on stems. At the National University of Colombia, Palmira studies at the laboratory and greenhouse, concerning recognize the early stages of the pathogenesis of the causative agent for the purposes of designing a growing scale reactions in 6 degrees both disease stems as forward sheets, to facilitate evaluation of tolerant or resistant germplasm. In the study susceptible rice varieties FEDEARROZ 60 PANORAMA 2008 and was used as inoculum and highly aggressive strains from rice Jamundí and Santander de Quilichao. In laboratory fungal growth and colonization in inoculations at 30, 45, 70 and 90 after germinated plants was evaluated. With the extended BBCH scale plant phenological monitoring, determining as the most susceptible to attack by the fungus stages the first S1-S5 are made. On field designed scales were validated, being implemented by three groups of evaluators with differential degree of expertise in quantifying pathosystems, represented by advanced graduate students in plant epidemiology (Test Group 1 - control), technical rice properly trained in handling scale (test Group-2) and rice with little instruction in the handling of the scale (test Group-3) farmers. Evaluators groups were statistically significant, demonstrating the accuracy of the two scales proposed.

**Keywords:** Mal standing in rice, *Gaeumannomyces graminis*, scales growing reactions severity scale, quantification of disease

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XV</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>XVI</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Revisión de literatura .....</b>	<b>5</b>
1.1 Importancia del arroz en el mundo .....	5
1.2 Países productores .....	5
1.3 Arroz en Colombia.....	6
1.4 Problemas fitosanitarios del arroz .....	6
1.4.1 Bruzone o Añublo del Arroz ( <i>Pyricularia grisea</i> ).....	7
1.4.2 Añublo de la Vaina ( <i>Rhizoctonia solani</i> ).....	7
1.4.3 Helminthosporiosis o Mancha Parda ( <i>Bipolaris oryzae</i> ) .....	7
1.4.4 Pudrición de la Vaina ( <i>Sarocladium oryzae</i> ) .....	7
1.4.5 El Virus de la Hoja Blanca (VIRUS (VHB)). Insecto vector: Sogata ( <i>Tagosodes orizicolus</i> ).....	8
1.4.6 Mal del pie causada por el hongo <i>Gaeumannomyces graminis</i> (Sacc.) von Arx & D. Oliver var. <i>graminis</i> .....	8
1.5 Generalidades del hongo .....	11
1.5.1 Mal del pie .....	11
1.5.2 Sinónimos:.....	11
1.5.3 Taxonomía.....	11
1.5.4 Descripción.....	11
1.5.5 Morfología.....	11
1.5.6 Huéspedes .....	12
1.5.7 Sintomatología.....	12
1.6 Epidemiología.....	12
1.7 Antecedentes .....	16
<b>2. Metodología .....</b>	<b>19</b>
2.1 Materiales .....	19
2.2 Localización .....	19

XIV Elaboración de escalas diagramáticas de severidad en hoja y tallos para evaluar la enfermedad “mal del pie” *Gaeumannomyces graminis* Sacc.) Von Arx & d. Oliver var. *graminis* en diferentes estados fenológicos del arroz

---

2.3	Procedimientos Metodológicos .....	21
2.3.1	“Determinar los estadios fenológicos del arroz más susceptibles al patógeno en condiciones de laboratorio e invernadero.” .....	21
2.3.2	Diseñar una escala de calificación de reacciones crecientes de la infección de <i>Gaeumannomyces graminis</i> en arroz.....	24
2.3.3	Evaluar patrones de severidad de la enfermedad en planta en diferentes estadios (hojas y tallos).....	25
<b>3.</b>	<b>Resultados y Discusión.....</b>	<b>27</b>
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>47</b>
<b>A.</b>	<b>Anexo: Análisis de regresión general .....</b>	<b>49</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>59</b>

## Lista de figuras

Pág.	
	Figura 1. Cultivos de arroz afectado por la enfermedad. .... 9
	Figura 2. Estadios iniciales de infección ..... 10
	Figura 3. Plano finca san José (Santander de Quilichao). .... 20
	Figura 4. Plano finca Samaria (Jamundi)..... 20
	Figura 5. Incubación <i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>graminis</i> con PDA y observaciones microscópicas con azul de lactofenol ..... 23
	Figura 6. Siembra del ensayo en el invernadero de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. .... 24
	Figura 7. Desarrollo del <i>G. graminis</i> var. <i>graminis</i> en plántula y raíces. .... 28
	Figura 8. Daño causado por el <i>G. graminis</i> var. <i>Graminis</i> a los 30 días de emergidas. .. 29
	Figura 9. Lesiones causadas por <i>G. graminis</i> var. <i>graminis</i> en los tallos. .... 30
	Figura 10. Efectos del <i>G. graminis</i> var. <i>graminis</i> en las bases de las hojas..... 30
	Figura 11. Segunda Inoculación, Colonización y efecto del <i>G. graminis</i> var. <i>Graminis</i> en plántulas con 45 D.D. E..... 32
	Figura 12. Tercera inoculación, colonización y efectos del <i>G. graminis</i> var. <i>Graminis</i> en plántulas con 70 D.D.E..... 33
	Figura 13. Cuarta inoculaciones, colonización y efecto del <i>G. graminis</i> var. <i>Graminis</i> en plántulas con 90 D.D.E..... 34
	Figura 14. Desarrollo del <i>G. graminis</i> var. <i>graminis</i> en plantas maduras. .... 35
	Figura 15. Comparación con el programa ImagenJ de las aéreas foliares afectadas por el <i>G. graminis</i> var. <i>graminis</i> ..... 36
	Figura 16. Escalas diagramática de severidad en hojas. .... 37
	Figura 17. Escala diagramática de severidad en tallos ..... 39

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Escala de evaluación para tejido afectado en porcentaje o proporción.....	25
Tabla 2. Escala de severidad en hojas.....	36
Tabla 3. Escala de severidad en tallos.....	38

# Introducción

“El arroz (*Oryza sativa*) Es uno de los cultivos más importante en el mundo, se produce en 113 países y es el alimento básico de más de la mitad de la población mundial proporcionando el 27% de la energía alimentaria y el 20% de las proteínas. En el 2005, la superficie mundial cultivada de arroz fue de 156 millones de hectáreas, con una producción mundial de 628 millones de toneladas. Para el mismo año, China fue el responsable de 28,9% de la producción lo cual lo ubica en el primer lugar, seguido por India e Indonesia con 20,8% y 8,6% respectivamente” (FAO 2004, Gramene 2006).

“En América Latina y el Caribe, se cultivaron en el mismo año 6.7 millones de hectáreas, con una producción total de 26.4 millones de toneladas, siendo los principales países productores: Brasil con 49,7% de la producción, seguido por Colombia (9,8%), Perú (9,3%), Argentina (3,9%) y Venezuela (3,6%)” (FAO, 2006).

El alto precio de los plaguicidas y el uso frecuente de los mismos, ha incrementado los costos de producción del cultivo, ha generado resistencia de plagas y enfermedades, y ha sido fuente de contaminación del ambiente, provocando envenenamiento y efectos adversos en otros organismos. (Pantoja et al, 1997).

En consecuencia, tanto los cultivadores como los investigadores, han buscado métodos alternos, que sean sostenibles, para el manejo de las plagas de este cultivo (Pantoja et al, 1997).

El hongo *G. graminis* tiene algunas variantes patogénicas, dos de éstas, *G. graminis* variedad *tritici* y *G. graminis* variedad *avenae* ocurren en cereales. La primera es patogénica en trigo en la Argentina, también afecta cebada y centeno pero no avena. Las

raíces de avena producen un compuesto anti-fúngico llamado avenacin que resiste el ataque del pietín del trigo, sin embargo el hongo de la variedad *avenae* posee una enzima (avenacinasa), pudiendo convertir avenacin en compuestos menos tóxicos que le permite al hongo *G. graminis avenae* atacar avena y otros cereales. Hasta el momento este último no ha sido descrito afectando cultivos de avena en la Argentina. (Fernández et al, 2007)

El hongo *Gaeumannomyces graminis* agente causal de la enfermedad Mal del pie es un patógeno que afecta cultivos de trigo y avena en las regiones subtropicales, siendo el cultivo del trigo uno de los más afectados. (Fernández et al, 2007)

Este patógeno tiene baja habilidad de competición saprofita. Los tejidos más importantes para la sobrevivencia de éste patógeno son las coronas de las plantas cultivadas infectadas y fragmentos de raíces infectadas, dónde se forman los peritecios, que constituyen su principal fuente de inóculo. (Fernández et al, 2008)

Las pérdidas de rendimiento por causa de este patógeno varían con el tipo de suelo, sistema de labranza, las rotaciones, y las condiciones climáticas; estimándose que en ataques severos la merma de rendimiento puede alcanzar hasta un 50 %. Cuando ocurren infecciones moderadas y no se observan los síntomas característicos de la enfermedad en la parte aérea, las pérdidas de rendimiento pueden llegar a ser del orden de 10 %. (<http://www.sinavimo.gov.ar/plaga/gaeumannomyces-graminis-var-tritici>.)

Las escalas de severidad son un parámetro importante que aproxima a investigadores, técnicos y agricultores a dimensionar el efecto detrimental de una enfermedad o patosistema. Sin embargo el diseño de estas escalas diagramáticas por lo general tienden a subestimar o sobre estimar este tipo de daños por lo que se debe recurrir hoy en día a métodos que sean más objetivos a la hora de valorarlas en campo. (Soto et al, 2010)

Para el caso del “mal del pie” todavía no se han hecho en el mundo escalas que precisen la proporción de tejido afectado, la intensidad de la enfermedad con relación a las áreas fotosintéticamente activas o transporte de nutrientes por los haces vasculares y como estas reducen la producción.

En Colombia esta enfermedad no era de importancia económica y no se tenían registros de ella, es por eso no se han desarrollado métodos de muestreo, umbrales de daño económico ni escalas de severidad.

El presente trabajo busca determinar los patrones de severidad de la enfermedad en la planta y determinar los estadios que, en el campo, presentan mayor susceptibilidad como una herramienta más para los investigadores, asistentes técnicos y productores para la toma de decisiones agronómicas en el manejo del cultivo

El objetivo principal del presente trabajo fue Elaborar escalas de valoración epidemiológica de la enfermedad llamada “mal del pie” producida por el hongo *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* en el cultivo del arroz, en condiciones de campo. A su vez se determinó los estadios fenológicos del arroz más susceptibles al patógeno en condiciones de invernadero y laboratorio, se diseñó una escala de calificación de reacciones crecientes de la infección causada por *Gaeumannomyces graminis* en arroz (enfermedad) y se evaluaron patrones de severidad de la enfermedad en planta en diferentes estadios (tallos y hojas).



# **1. Revisión de literatura**

## **1.1 Importancia del arroz en el mundo**

De todos los cereales, el arroz es, sin duda alguna, el que ofrece la posibilidad de llenar más rápidamente un déficit de producción agrícola para la alimentación del hombre y, junto con el trigo y la carne o el pescado, constituye la base de la alimentación humana. El 75% de la población mundial lo incluye en su dieta alimenticia diaria, pudiendo superar en algunos casos el consumo de otros cereales como el maíz y el trigo. (Franquet et al, 2006).

El arroz es, hoy por hoy, un grano alimenticio básico para cerca de la mitad de la población del planeta; es por ello, un componente esencial de la estabilidad política, económica y social de la humanidad y, en cierto sentido, de su supervivencia. Ahora bien, las condiciones socio-económicas que rodeaban antes la producción de arroz han cambiado, no solo en el ámbito mundial sino en el regional y en el local, en 1966 se producían 257 millones de toneladas de arroz en el mundo; en el 2008 esta producción se elevó a 680 millones de toneladas (Martínez et al, 2010).

## **1.2 Países productores**

Asia concentra el 90% del área cosechada de arroz. Los principales países productores son China, India, Indonesia, Bangladesh, Vietnam, Tailandia, Burma y Filipinas. Con India a la cabeza (29% del total mundial y 32% del total asiático), seguida de China e Indonesia. África participa con el 4.9%,(Egipto, Nigeria, Madagascar, y Costa de Marfil) seguido de Sur América con el 3,4%,( Brasil, Uruguay, Argentina, Perú, Ecuador,

Colombia, Venezuela) Norte y Centro América con el 1,3% (Estados Unidos, Republica Dominicana, Nicaragua, Panamá). La Unión Europea participa el 0,3%( Italia, España, Rusia, Grecia y Portugal) (FAO 2004).

### **1.3 Arroz en Colombia**

En Colombia, el arroz es el tercer producto agrícola en extensión después del café y el maíz, representando el 13% del área cosechada del país. Su producción representa el 11% del volumen de la producción agrícola nacional y en términos de valor (pesos de 2000), representa el 7,68% de la actividad agrícola y el 3,9% del total agropecuario. ([www.agronet.gov.co](http://www.agronet.gov.co))

En 1591, fue traído a América por los conquistadores españoles. En Colombia se Cultiva en los departamentos de Arauca, Tolima, Huila, Norte de Santander, Guajira, Cesar, Valle del Cauca, Cauca, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia, Casanare, Meta y Caquetá. ([www.agronet.gov.co](http://www.agronet.gov.co))

En Colombia se presentan dos cosechas de arroz al año, en el primer semestre se registra aproximadamente el 63% del área sembrada, y en el segundo el 37%, esta diferencia entre semestres obedece a que una parte importante de la producción de arroz se realiza bajo seco, principalmente en los Llanos Orientales. ([www.agronet.gov.co](http://www.agronet.gov.co))

El mayor volumen de la producción se obtiene en los meses de enero, febrero, julio, agosto, septiembre y diciembre, en los cuales se cosecha cerca del 70% de la producción nacional ([www.agronet.gov.co](http://www.agronet.gov.co))

### **1.4 Problemas fitosanitarios del arroz**

En la literatura mundial se registran más de 80 enfermedades en el cultivo del arroz causadas por patógenos que incluyen hongos, bacterias, virus y nematodos (Ou, 1985). Las más importantes están:

### **1.4.1 Bruzone o Añublo del Arroz (*Pyricularia grisea*.)**

El ataque es más severo en condiciones de secano que en arroz riego, Las plantas de arroz son susceptibles a la enfermedad desde la germinación hasta la época de máximo macollamiento y desde la emergencia de la panícula hasta la maduración del fruto. Su mayor incidencia y severidad en suelos de baja fertilidad.

### **1.4.2 Añublo de la Vaina (*Rhizoctonia solani*.)**

Manchas de color oscuro de forma elíptica que se tornan de color verde con centro blanco grisáceo. Afecta los tallos y las hojas cuando las lesiones se juntan causan la muerte del tejido, no hay variedades, tolerantes ni mucho menos resistentes a esta enfermedad. El incremento y desarrollo del hongo se favorece en condiciones de alta humedad relativa y/o temperatura.

### **1.4.3 Helmintosporiosis o Mancha Parda (*Bipolaris oryzae*)**

Afecta los Tallos, las hojas y las semillas, Manchas pardas que al extenderse se tornan de color café. Lesiones de forma ovalada y circular con un halo externo de color amarillo. Sus estructuras de reproducción son las conocidas de forma alargada, cilíndricas, oscuras y curvas.

### **1.4.4 Pudrición de la Vaina (*Sarocladium oryzae*.)**

Formación de micelios de color blanco. Presencia de lesiones en su mayoría en las vainas de las hojas. Mancha inicial de forma oblonga, irregular, con centro gris y bordes marrones. Las manchas se unen y cubren completamente la vaina. Ataques tempranos

- 8 Elaboración de escalas diagramáticas de severidad en hoja y tallos para evaluar la enfermedad “mal del pie” *Gaeumannomyces graminis* Sacc.) Von Arx & d. Oliver var. *graminis* en diferentes estados fenológicos del arroz
- 

impiden la formación de las espigas, produce esterilidad y vaneamiento de las espigas, granos livianos y manchados del grano.

#### **1.4.5 El Virus de la Hoja Blanca (VIRUS (VHB)). Insecto vector: Sogata (*Tagosodes orizicolus*)**

Manchas cloróticas en las hojas de arroz. En variedades susceptibles cuando las manchas se fusionan forman rayas los síntomas aparecen entre 10 y 15 días después de que la planta haya sido infectada por el virus afecta hojas y panículas deforma los granos causando muerte de la espiga.

#### **1.4.6 Mal del pie causada por el hongo *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx & D. Oliver var. *graminis*.**

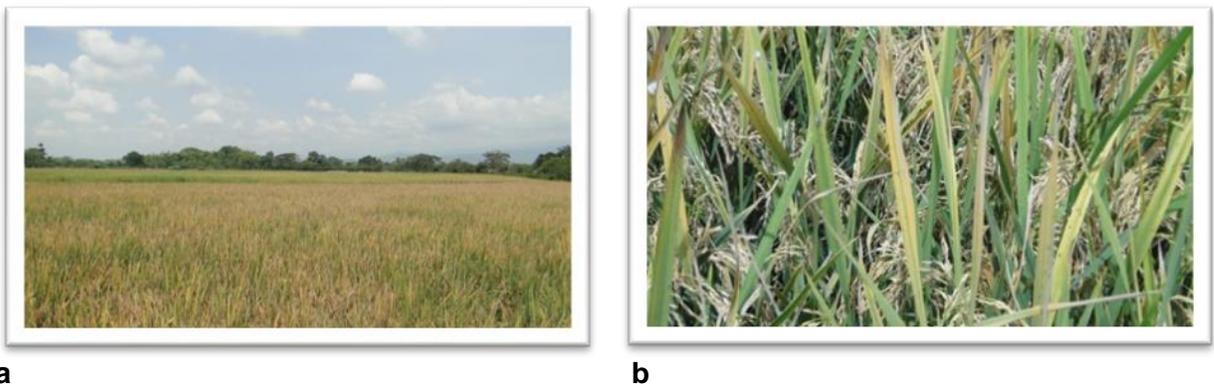
Ha sido reportada en Estados Unidos, Japón, Filipinas e India. Aunque la ocurrencia de “Mal del pie”, cuyo agente causal es el hongo *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, se ha reportado desde 1944, en el trigo (*Triticum aestivum* L.).(Datnoff et al, 1997)

En Estados Unidos se estudió que esta enfermedad estaba asociada a suelos con pH de 5,5 o más asociados con el exceso de lluvias durante varios años, fueron identificados como factores que favorecen la alta incidencia del “Mal del pie” (Prestes, 1972)

En el año 2004, se reportó la presencia de este hongo *Gaeumannomyces graminis* ha sido observado en diferentes malezas del grupo de las gramíneas como: *Leptochloa* sp., *Cynodon* sp., *Chloris* sp., *Pennisetum* sp., *Stenotaphrum* sp., *Triticum* sp. y *Axonopus* sp., las cuales pueden constituirse como hospederos alternativos de este patógeno en el cultivo de arroz. De la misma manera, se ha determinado que este hongo sobrevive en residuos de cosecha y puede ser diseminado por el agua y el viento (Walker, 1975, Datnoff, 1997 citado por Ospina, 2009).

En los cultivos de arroz afectados la enfermedad causa una rápida maduración del grano y la muerte de macollos, dependiendo de la época de aparición y el desarrollo de la planta (Figura 1a y 1b). El síntoma característico de la enfermedad es un color marrón oscuro o negro en la vaina en la base de la planta entre el primer y segundo nudo. Las raíces de las plantas tienen un color negro y en casos severos de la enfermedad las plantas pueden morir (Ospina, 2009).

**Figura 1.** Cultivos de arroz afectado por la enfermedad.

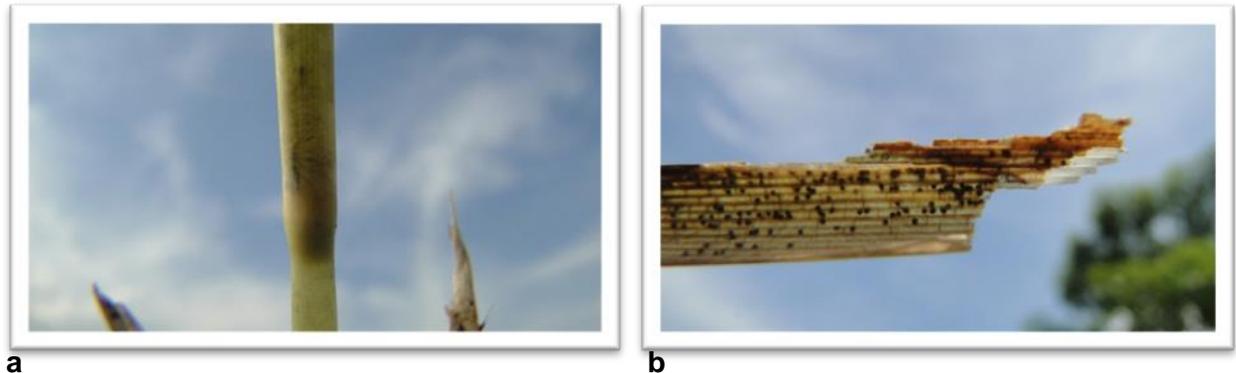


**a:** Sintomatología en hojas, **b:** Cultivo afectado. **Tomado por:** Salazar, L.

Se reporta que una vez se presenta la lesión en la vaina de la hoja, ésta se extiende por la misma de manera ascendente causando un anaranjamiento que alcanza la lámina de la hoja afectada (Whitney, 1990).

En los estadios iniciales de infección, puede observarse un micelio café oscuro en la cara interna de las vainas de las hojas afectadas y peritecios (Figura 2a y 2b). Las plantas enfermas en estado de maduración muestran una decoloración marrón que se inicia a la altura de la lámina de agua y se extiende en las vainas y láminas (Ospina, 2009).

**Figura 2.** Estadios iniciales de infección



**a:** Micelio colonizando tallo, **b:** Estructuras de resistencia (Peritecios). **Tomado por:** (Salazar, L.)

Se conoce que los hongos patógenos comprometidos con el desarrollo de la pudrición de tallos y vainas del arroz requieren de condiciones ambientales que favorezcan su desarrollo. *Gaeumannomyces* requieren entre 15 °C y 35 °C de temperatura.

*Rhizoctonia solani* se ve favorecido con temperaturas del suelo de 25 °C a 30 °C, y los síntomas aparecen en un mes; entre 20 °C a 25 °C, los síntomas se manifiestan en 3 a 4 meses; y la enfermedad no se presenta por debajo de 20 °C (Correa et al,1997) .

Estas condiciones permiten que estos patógenos se encuentren en diferentes países como Colombia, Argentina, Brasil, Venezuela, Estados Unidos, Japón, Pakistán, Panamá Nicaragua y Ecuador (Garrido, 2009).

La información al respecto es escasa ya que el patógeno se considera de menor importancia en el cultivo de arroz. No obstante, la principal medida de control reportada es la siembra de variedades resistente (Ospina, 2009).

## 1.5 Generalidades del hongo

### 1.5.1 Mal del pie

(*Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*) (Barnett, 1985).

### 1.5.2 Sinónimos:

*Ophiobolus graminis* Sacc. Y otras especies de los géneros *Gaeumannomyces*, *Ophiobolus* y *Sphaeria* (Barnett, 1985).

### 1.5.3 Taxonomía

Reino Fungí, Filo Ascomycota (División Eumycota, Subdivisión Ascomycotina, Clase Pyrenomycetes), género *Gaeumannomyces*, especie *graminis* (Barnett, 1985).

### 1.5.4 Descripción

Dentro de esta especie, actualmente se incluyen tres variedades: *graminis*, *avenae* y *tritici*, todas ellas con un rango de huéspedes en gramíneas con solapamientos (Barnett, 1985).

### 1.5.5 Morfología

Peritecios ovales y ligeramente aplastados en el sentido dorso-ventral. Ascas unitunicadas. Ascosporas de color amarillo pálido, ligeramente curvadas, con los extremos redondeados; miden entre 80-100 x 2,5-3  $\mu\text{m}$ . Anamorfo: forma hifas pardas unidas en hebras, con hifas laterales que forman hifopodios desde los que se realiza la entrada en el huésped. Colonias de color marrón oliváceo a negro. Conidióforos ramificados, lisos y de color marrón, llevan en sus extremos conidias simples con uno o ningún septo, elipsoidales a oblongas, incoloras y de 5 x 2  $\mu\text{m}$  de medida (Barnett et al, 1998).

- 12 Elaboración de escalas diagramáticas de severidad en hoja y tallos para evaluar la enfermedad “mal del pie” *Gaeumannomyces graminis* Sacc.) Von Arx & d. Oliver var. *graminis* en diferentes estados fenológicos del arroz
- 

### **1.5.6 Huéspedes**

Arroz, avena, cebada, centeno, trigo, triticale (Barnett et al, 1998).

### **1.5.7 Sintomatología**

Causa la podredumbre del pie del huésped. Ataca a las raíces en todos los estados del crecimiento del huésped. Causa enanismo y reducción del macollamiento (Barnett et al, 1998).

## **1.6 Epidemiología**

“El inoculo sobrevive como micelio saprofito en raíces podridas y en la base de tallos infectados subsistiendo mientras duren los residuos de cosecha; así, en suelos de pH bajo, en los que la actividad microbiológica es débil, la descomposición es lenta y la supervivencia del micelio larga (2-3 años); por lo mismo la supervivencia es corta en pH alcalinos; también puede sobrevivir sobre gramíneas silvestres. La infección por ascosporas puede darse pero probablemente carece de importancia en la extensión de la enfermedad debido a la competencia con otros microorganismos de la rizosfera, del mismo modo no parece que las fialosporas tenga un papel en la infección en campo. Los primeros ataques se deben al micelio saprofito, que probablemente se estimule con exudados de raíces jóvenes sensibles, la progresión posterior del hongo de raíz a raíz varía según la naturaleza del suelo. La diseminación del inoculo desde un campo afectado a otro es posible por el suelo y residuos extendidos por prácticas agrícolas; debido a su precocidad, un campo afectado de mal del pie puede cosecharse antes que los sanos por tanto ser fuente de contaminación para otros” (Smith et al,1988).

Entre los muchos factores que afectan el desarrollo del “mal del pie” probablemente los microorganismos del suelo tengan importancia máxima, en suelo estéril su desarrollo es siempre importante y cuando los microorganismos del suelo se destruyen en parte por un contenido de calcio demasiado elevado, o tras la supresión de malas hierbas, los daños son importantes. Las deficiencias en nitrógeno, fosforo, o potasio aumentan la gravedad de la enfermedad, sin embargo un contenido en nitrógeno demasiado alto también es malo y N amoniacal es mejor que N nítrico, de hecho cuando las plantas tienen una

nutrición adecuada el mal del pie es menos grave, del mismo modo una sobre utilización de herbicidas contra malas hierbas y gramíneas favorecen el mal del pie, igual que la estructura del suelo, suelos compactos aumentan la presencia de la enfermedad. En general la densidad del inóculo disminuye rápidamente si se introduce un cultivo de leguminosas o crucíferas (Smith et al, 1988).

En Colombia esta enfermedad empezó a convertirse en limitante para el desarrollo del cultivo en el 2006 y se empezó a extender a todas las zonas arroceras del país (Ospina et al, 2009).

En el Valle del Cauca y Cauca a comienzos del 2009 se realizaron visitas de campo con el Doctor Gustavo Prado Fitopatólogo del programa arroz del CIAT y se comenzó a observar la presencia de la enfermedad y ha causado disminuciones considerables en la producción de arroz, alterando también su calidad en el molino.

La Epidemiología es la ciencia de las poblaciones de patógenos en las poblaciones de hospedantes, y de la enfermedad que resulta de su interacción bajo la influencia del ambiente y de la interferencia humana. Una epidemia es el progreso de una enfermedad en tiempo y/o espacio (Kranz, 1974).

El objetivo último de la epidemiología es comprender el progreso de la enfermedad y, a partir de este conocimiento, regular la enfermedad y optimizar las estrategias de manejo y control. Tal como indicara (Van Der Plank, 1963): "La industria química y los mejoradores proporcionan armas tácticas, pero sólo la epidemiología establece las estrategias". (Castaño, 2005).

"En esencia la epidemiología es el ciclo de la enfermedad. Este no tiene principio ni fin; un segmento conduce al siguiente. Las unidades infectivas, son liberadas de la fuente de inóculo, se dispersan, se depositan en tejidos susceptibles, penetran, colonizan y luego producen más propágulos, continuando el ciclo. Entre más rápido se mueva el ciclo, mayor será la cantidad de inóculo producido y, por consiguiente, mayor la severidad de la enfermedad" (Castaño, 2005).

Existen dos métodos de predicción o pronósticos de enfermedades: El método empírico: Basado en la experiencia del observador y que consiste en correlacionar los resultados

del desarrollo de una enfermedad, en un lugar determinado, con los factores climáticos; y método fundamental: basado en datos provenientes de la investigación científica. Este método utiliza resultados de la investigación obtenidos en el laboratorio, referentes al efecto de los diferentes factores del clima sobre el patógeno y el hospedero, los que son interpretados de acuerdo a la biología del patógeno y con la variación de la susceptibilidad del hospedero (Hernández et al, 2011).

El pronóstico de una enfermedad mediante un modelo fundamental, envuelve las siguientes actividades durante su formulación:

1. Estudiar la biología del patógeno y desarrollar funciones epidemiológicas (ecuaciones que explican el efecto del ambiente) este efecto del medio ambiente es cuantificado como “razón de sobrevivencia” o como periodos necesarios para la realización de estos procesos (infección, esporulación, diseminación, germinación, penetración, colonización, formación de esporas, liberación, y deposición de esporas).
2. Cuantificar la tasa de desarrollo de la enfermedad y del hospedero en el campo: cuantificar el microclima; transformar los parámetros meteorológicos en razones de sobrevivencia en base a funciones epidemiológicas para el patógeno, desarrollados como se explicó anteriormente.
3. Correlacionar la tasa de infección con las funciones epidemiológicas y las razones de sobrevivencia, e identificar las variables más importantes por medio de modelos matemáticos, como análisis de regresión y establecer un sistema de previsión.
4. Correlacionar la tasa de desarrollo de la enfermedad con la pérdida de rendimiento (pérdida económica) cuantificar la reducción en la tasa de infección por las diversas aplicaciones de los fungicidas.
5. Prever la intensidad de la enfermedad, en base a parámetros escogidos para previsión y notificar a los agricultores de las medidas, las cuales pueden ser simples o complejas, positivas o negativas (aplicar o no fungicidas) (Hernández et al, 2011).

Para la cuantificación de la severidad de enfermedades con precisión existen diversas técnicas como, análisis de imágenes digitalizadas, fotografía infrarroja, termografía infrarroja, reflectancia de espectro del dosel e imágenes de resonancia magnética nuclear. Entre tanto, esas técnicas exigen equipamientos sofisticados y son de alto costo y con excepción del análisis de imagen, cuantifica indirectamente la enfermedad, midiendo estrés en la planta aunque este estrés también puede ser ocasionado por otros factores (abióticos, deficiencias nutricionales, etc.). Debido a estos inconvenientes y a la tarea extremadamente trabajosa referente a la cuantificación precisa del área enferma, varias estrategias vienen siendo propuestas para la evaluación de severidad de enfermedades, destacándose entre estas, las escalas diagramáticas (Hernández, 2005).

Las escalas diagramáticas son representaciones ilustradas de una serie de plantas hojas o partes de plantas con síntomas en diferentes niveles de severidad, estas escalas han sido desarrolladas para enfermedades en distintos cultivos como caña de azúcar, cereales, cítricos, frijol, tomate, entre otros; y han sido usadas para estimar síntomas de severidad en raíces, hojas, frutos y panículas. Actualmente las escalas diagramáticas se han constituido en la principal herramienta de evaluación de severidades para muchas enfermedades, siendo de fácil uso, aplicables a una gran número de condiciones, y posee un gran intervalo para representar todos los estados de desarrollo de la enfermedad y permitiendo una evaluación inmediata. Así mismo la elaboración de escalas diagramáticas se deben considerar algunos aspectos como los límites superiores e inferiores de la escala, los cuales deben corresponder, respectivamente a la cantidad máxima y mínima de la enfermedad encontrada en el campo (Soto, 2010).

La utilización de escalas diagramáticas puede reducir la subjetividad en la estimación de severidades entre quienes realicen estas evaluaciones mejorando significativamente la precisión en las evaluaciones, entre tanto estas escalas deben ser precisas y deben tener niveles suficientes para la caracterización del proceso de la enfermedad.

“En la elaboración de escalas diagramáticas deben ser considerados aspectos como el límite superior de la escala, que debe corresponder a la máxima intensidad de la enfermedad observada en el campo y su representación en la escala debe tener una alta precisión. Los niveles intermedios de la escala deben respetar las limitaciones de la agudeza visual humana definidas por la ley de estímulo-repuesta de Weber-Fechner en

la cual la agudeza visual es proporcional al logaritmo de la intensidad del estímulo (Horsfall & Cowling 1978, citado por Giuvan et al, 2010).

## 1.7 Antecedentes

En el mundo no son muchos los trabajos relacionados con índices de incidencia y severidad de este patógeno y mucho menos con relación al cultivo del arroz, la investigación se ha desarrollado principalmente en cultivos de otras gramíneas principalmente las de clima templado caso del trigo, avena y centeno en las regiones subtropicales del mundo.

*Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx & Oliver patógeno del tallo recientemente afectando arrozales, se confunde con otros patógenos como *Rhizoctonia solani* (Kühn), agente causal del Añublo de la Vaina enfermedad que puede afectar los rendimientos entre 20-80%; la susceptibilidad de las variedades cultivadas, prácticas culturales y condiciones ambientales que favorecen su desarrollo, la han posicionado como una enfermedad importante de oportuno control. (Hernández et al, 2001).

En el año agrícola de 1997/98 se constató la aparición por primera vez del mal del pie en arroz en lotes de tierras altas con riego por pivote central en los municipios de Unai (MG), Palmeiras (GO), Itaberai (GO), Humaitá (AM) y en los campos experimentales de EMBRAPA arroz y frijol en San Antonio de Goias.

En los lotes de arroz afectados la enfermedad causo la maduración rápida de los granos y la muerte de los hijos, dependiendo de la época de su aparición durante la fase de desarrollo de la planta (Annes et al, 2002).

Durante la época de lluvia de 1994 en el campo experimental del Centro de Investigaciones Agropecuarias Portuguesa (CIAEP\_FONAIAP) se notó la presencia severa de una enfermedad que causo el acame de las plantas de arroz. Los síntomas consistieron en una decoloración marrón en la vaina de las hojas, comenzando a nivel de la línea del agua y que continuaba en ascenso sobre la planta. Numerosos peritecios negros fueron encontrados en las áreas decoloradas. Los peritecios midieron 200-346 um en diámetro, con ascos que midieron 116-130 x 13-15 um contentivo de 8 ascosporas hialinas, levemente curvadas y con 3 a 7 septos que midieron 67-108 x 2,5-3 um. En el

micelio se observaron hifopodios lobados de color marrón. Por las características morfológicas y las dimensiones exhibidas por el hongo, este se identificó como *Gaeumannomyces graminis* var *graminis* causante de la enfermedad pudrición negra de la hoja envainadora del tallo del arroz. Es la primera publicación de *Gaeumannomyces graminis* var *graminis* en arroz en Venezuela (Cardona et al, 1995).

El pietín de los cereales, causado por el patógeno de suelo *Gaeumannomyces graminis*, es el hongo de suelo de mayor importancia que afecta las raíces de trigo en Europa Occidental, Estados Unidos, Australia, Argentina y otras áreas templadas donde se cultiva trigo. En la región semiárida y subhúmeda pampeana (Provincia de La Pampa, sur de Córdoba y oeste de la Provincia. de Buenos Aires) Argentina, existen condiciones muy favorables para el desarrollo del patógeno, condicionando el rendimiento del cultivo de trigo en especial, en condiciones de monocultivo o antecesor pastura polifítica. En los últimos diez años, favorecido por el incremento de las precipitaciones, se ha convertido en el principal patógeno de suelo del cultivo de trigo en dicha región. (Fernández et al, 2007).

En trigo el rendimiento potencial del lote con severidad baja/nula se estimó en 3042 kg/ha con un peso de 1000 granos de 41.3 gramos. Con severidad media se obtuvo 2026 kg/ha y un peso de 1000 granos de 32.9 g lo que representa una disminución del 33 % en rendimiento y 20 % en peso de 1000 para los manchones moderados. Cuando el pietín mostró síntomas severos se detectó una disminución del rendimiento del 79% (628 kg/ha) y 24 % (31.4 g) respectivamente. (Fernández et al, 2008)



## **2. Metodología**

### **2.1 Materiales**

Se utilizó la variedad de arroz PANORAMA 2008 y FEDEARROZ 60, por su susceptibilidad a el patógeno, Suelo autoclavado, materas de 12 cm de alto x 15 cm de ancho, cámara fotográfica Panasonic **LUMIX**, computador portátil **DELL**, programa imagen J

El trabajo tuvo 3 fases, laboratorio, campo e invernadero. En la fase de laboratorio se evaluó el crecimiento del hongo y la colonización en estados iniciales de germinación S1 –S5, en el campo e invernadero se evaluó las épocas fenológicas donde el hongo causo más daño.

### **2.2 Localización**

El trabajo sobre determinación de los estados fenológicos más susceptibles se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira ( $3^{\circ}30'44.68''N$   $76^{\circ}18'28.50''W$ ) y la fase de campo en la finca San José ubicada en el Departamento del Cauca en el Municipio de Santander de Quilichao ( $3^{\circ}01'30''N$  y  $76^{\circ}28'36''W$ , 1071 m.s.n.m. temperatura promedio de  $26^{\circ}C$  con una precipitación anual de 1900 mm) (Figura 3).

**Figura 3.** Plano finca san José (Santander de Quilichao).



Y en el municipio de Jamundí ubicado en el Departamento del Valle del Cauca (3°13,46' 70" N y 76°30,45'45" W, 965 m.s.n.m. temperatura promedio de 26 °C con una precipitación anual de 2000 mm).

**Figura 4.** Plano finca Samaria (Jamundi).



## 2.3 Procedimientos Metodológicos

### 2.3.1 “Determinar los estadios fenológicos del arroz más susceptibles al patógeno en condiciones de laboratorio e invernadero.”

Para determinar estos estadios se desarrolló en el laboratorio de Patología Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, cultivos puros del hongo *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*, El patógeno se aisló de muestras de lotes de variedad Fedearroz 60 lotes comerciales pertenecientes a cultivos de Arrocera la Esmeralda, en la finca San José ubicada en el municipio de Santander de Quilichao.

Para el aislamiento de *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*, se utilizaron tallos de arroz que presentaban síntomas característicos de la enfermedad. A partir de éstos, con la ayuda de un bisturí estéril se tomaron fragmentos del tejido enfermo de aproximadamente 4x4 mm, tratando de involucrar tejido infectado (90%) y sano (10%); se desinfectaron por inmersión en hipoclorito de sodio al 0.5% y se lavaron 2 veces con agua destilada; posteriormente se sembraron en cajas de Petri con PDA (Papa-Dextrosa-Agar); se realizaron 2 repeticiones por tallo, colocando cuatro fragmentos de tejido en la placa de agar PDA (Peláez 2011).

Las cajas sembradas se incubaron a temperatura ambiente durante 6 días, luego cada uno de los aislamientos obtenidos se les asignó un número consecutivo y con el fin de purificar el hongo, se resembraron por separado en placas de PDA Arroz –Avena suministrado por BAYER Crop Science (ESTACION EXPERIMENTAL LA TUPIA) (Foto 3a); simultáneamente se realizaron observaciones microscópicas con azul de lactofenol para verificar las características del hongo (Foto3b); (Peláez 2011).

Para la inoculación se aplicaron diferentes prácticas descritas por (Peláez 2011).

Se inocularon 5 semillas de arroz de la variedad Fedearroz 60 con 4 repeticiones por cada estado y un testigo absoluto, la inoculación se realizó en cajas de Petri con papel filtro esterilizado, con una lámina de agua de aproximadamente 5 mm de agua destilada,

con la ayuda de un sacabocado de 4mm de diámetro del cultivo puro se colocó en la mitad de la caja y alrededor de esta se colocaron las semillas (5) por tratamiento.

Utilizando la escala de la Estados fenológicos del arroz escala extendida BBCH. Desde el estado S1 (Comienza la imbibición de la semilla), hasta el estado S9 (Una hoja imperfecta (enrollada) emerge en la punta del coleóptilo).

Código — Descripción

00 — Semilla seca.

01 — Comienza la imbibición de la semilla.

03 — Imbibición completa de la semilla.

05 — Radícula (raíz embrional), emergida de la semilla.

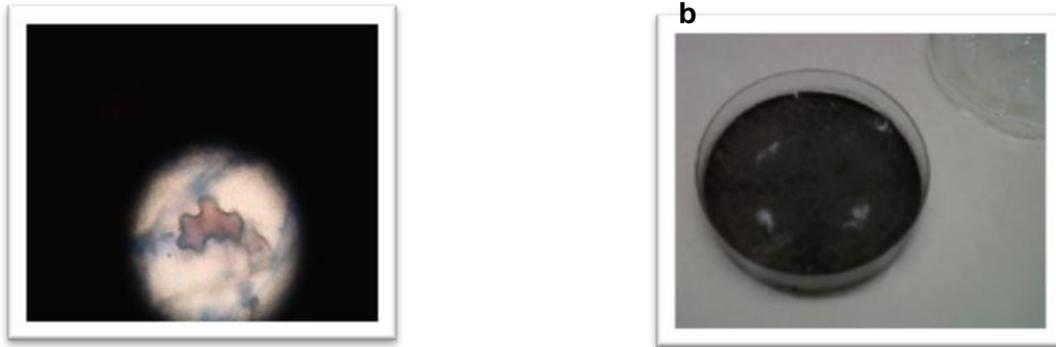
06 — Radícula alargada, formando pelos radiculares y raíces secundarias.

07 — Coleóptilo, emergido de la semilla (en arroz inundado, esto ocurre antes del estadio (05)

09 — Una hoja imperfecta (enrollada) emerge en la punta del coleóptilo.

(<http://www.tecnicoagricola.es/estados-fenologicos-del-arroz-escala-extendida-bbch/>)

**Figura 5.** Incubación *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* con PDA y observaciones microscópicas con azul de lactofenol



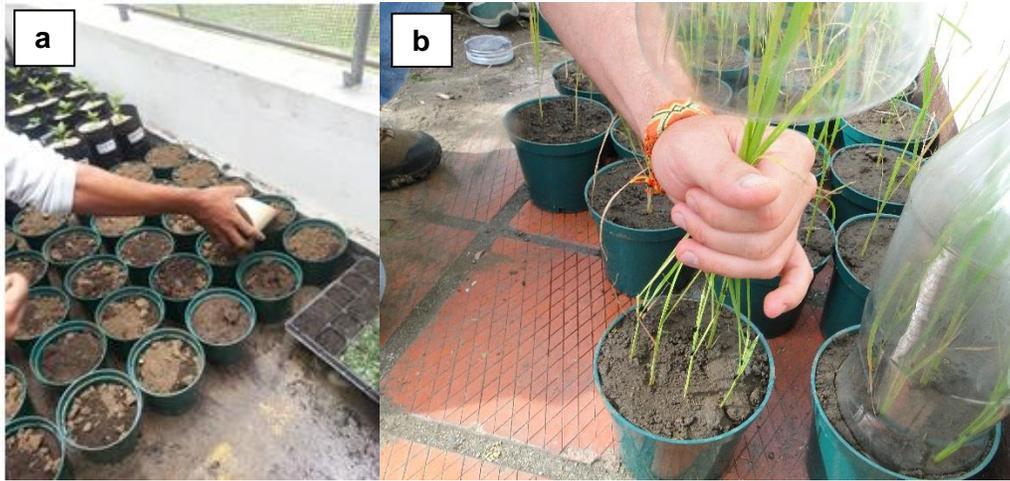
**a:** Cultivo puro del hongo *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* en medio de cultivo en PDA Arroz – Avena, **b:** Hipofodio de *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*.

Para la siembra de las semillas se utilizó suelo tomado de un lote que no habían sido sembrado en arroz, para evitar que existieran estructuras de resistencia (Peritecios) del hongo *Gaeumannomyces graminis*, se utilizaron 2 bolsas de 25 Kilogramos (50Kg) de suelo fue autoclavado a una temperatura de 121°C por 30 minutos.

En invernadero, se sembraron 5 semillas por matera (12 cm de alto x 15 cm de ancho) y 4 repeticiones, por cada tratamiento (foto 4a y 4b). Se inocularon plantas a los 30 – 45 – 70 – 90 D.D.E (Días después de emergencia).

Las plantas se inocularon con cultivo puro del hongo de 2mm de diámetro y se colocaron en la primera y segunda hoja verdadera del arroz, se inocularon así para garantizar la infección del hongo y se incubaron durante 10 días con la ayuda de botellas plásticas de gaseosas de 3 litros cortadas en su parte baja y tapando las plantas dándole condiciones de humedad ideales para que no se deshidratara el inoculo.

**Figura 6.** Siembra del ensayo en el invernadero de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.



**a:** Siembra de tratamientos invernadero Universidad Nacional de Colombia sede Palmira; **b:** inoculación plántulas de arroz.

### **2.3.2 Diseñar una escala de calificación de reacciones crecientes de la infección de *Gaeumannomyces graminis* en arroz**

Con la ayuda de una cámara fotográfica digital se desarrolló esta escala de calificación, capturando el desarrollo de la enfermedad en diferentes estados fenológicos del cultivo a través del tiempo destacando los principales síntomas y signos de la enfermedad.

Se tomaron hojas afectadas por el patógeno en diferentes lotes comerciales pertenecientes a agricultores proveedores de Arrocera La Esmeralda S.A, y se fotografiaron las hojas que presentaban los síntomas de la enfermedad, y con la ayuda del programa **ImagenJ** se procedió a medir el área foliar de las hojas de arroz, y luego se procedió a medir el área afectada por los síntomas de la enfermedad.

### 2.3.3 Evaluar patrones de severidad de la enfermedad en planta en diferentes estadios (hojas y tallos).

Se tomaron 20 hojas afectadas de los diferentes lotes infectados con la enfermedad y se elaboró una tabla que represento el daño producido por esta, en escalas de severidad teniendo como base la siguiente tabla propuesta.

**Tabla 1.** Escala de evaluación para tejido afectado en porcentaje o proporción.

Grado	Tejido afectado en (%) o proporción	
1	1 – 10 %	0.1 - 0.10
2	11-20 %	0.11- 0.20
3	21 -30 %	0.21 – 0.30
4	31-40%	0.31-0.40
5	41-50 %	0.41-0.50
6	≥ 51 %	≥ 0.51

Se hicieron evaluaciones de las escalas propuestas con base en parámetros de evaluación visual (evaluación que se realizó por otros evaluadores) y se compararon con la evaluación del programa Imagen J.

Cada evaluación fue un tratamiento y la evaluación la realizaron Ingenieros Agrónomos, Asistentes Técnicos y Agricultores y fueron comparados con el programa de Imagen J.

Se procedió a realizar un modelo de regresión superficial de respuesta que es un conjunto de técnicas matemáticas utilizadas en el tratamiento de problemas en los que una respuesta de interés está influida por varios factores de carácter cuantitativo. El propósito inicial de estas técnicas es diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable respuesta y, a continuación, determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos. El objetivo final es establecer los valores de los factores que optimizan el valor de la variable respuesta. (Melcón et al, 2004). Se elaboraron graficas de residuo para cada grado.



## **3.Resultados y Discusión**

### **3.1 Determinar los estadios fenológicos del arroz más susceptibles al patógeno en condiciones de laboratorio e invernadero.**

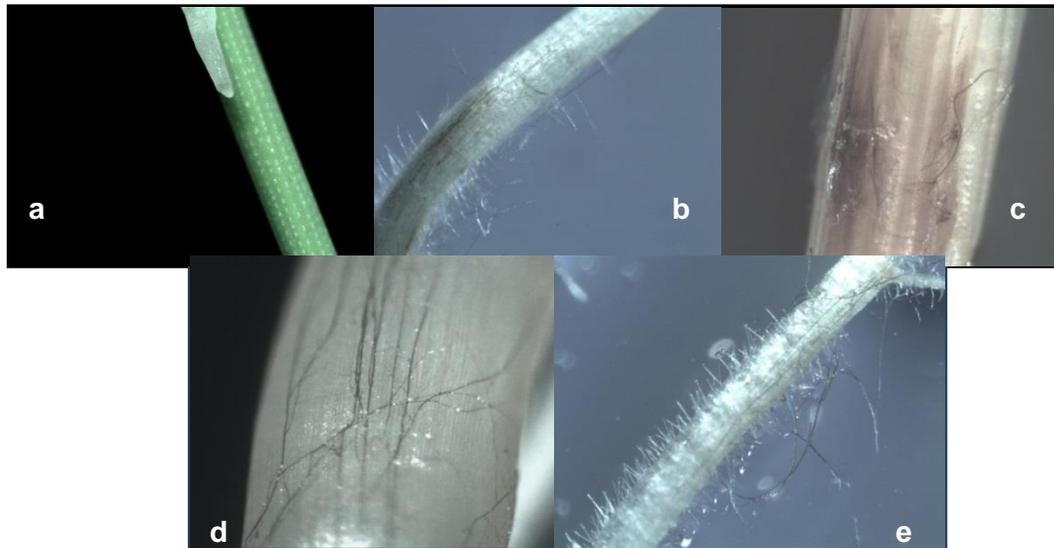
En las evaluaciones realizadas en los estados de S1, S3, S5, S7, S9, el único estado que no presento desarrollo del micelio fue el estado S1, en este estado la semilla se encuentra en estado de imbibición y no ha comenzado el proceso de germinación, en el resto de estados (foto 5b, c, d) se observó que el hongo *G. graminis* var. *graminis* comenzó a desarrollar micelio en el hipocotilo de la planta y en las raíces (Foto 5e)

Este hongo también afecta las raíces en Arroz y causa lesiones muy similares a las presentadas en el trigo (*Triticum spp.*), cuando el micelio del hongo entra en contacto con las raíces, se disemina sobre su superficie, desintegra el xilema y floema y avanza sobre la raíz principal y base del tallo formando manchones diseminados no uniformemente, frecuentemente circulares a irregulares en su forma dentro del cultivo. Los síntomas característicos de la enfermedad se encuentran en las raíces que presentan lesiones negras a marrones con necrosis en las puntas de las raíces secundarias. Llama la atención que los síntomas tempranos, son a veces no observados fácilmente porque el hongo penetra frecuentemente en raíces jóvenes y crece dentro de la corteza y el micelio oscuro puede no observarse (Reis et al, 1989).

Fue posible reproducir sintomatología asociada a la enfermedad con reconocimiento de estructuras del patógeno (*Gaeumannomyces graminis*). (Fernández y otros 2007).

En tejidos de raíces Reis et al., (1989), obtuvieron resultados similares al presente trabajo sobre todo en los estadios iniciales del patosistema *Gaeumannomyces – Triticum spp.*

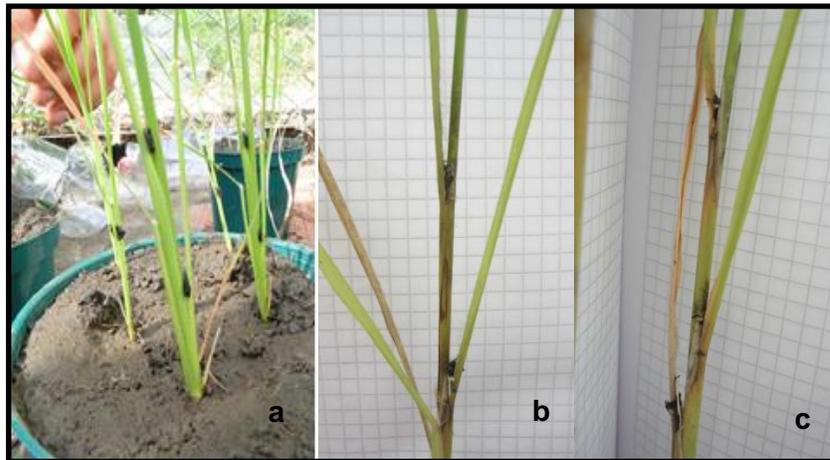
**Figura 7.** Desarrollo del *G. graminis* var. *graminis* en plántula y raíces.



**a:** Hipocotilo de una planta de arroz (Control) completamente sano, estado (S5), **b:** **Hipocotilo** de una plántula de arroz que empieza a ser colonizado por el micelio del hongo *G. graminis* (S3), **c:** Hipocotilo de una planta de arroz siendo infectado por el hongo (S5), **d:** tallo infectado por micelio del hongo (S7), **e:** raíz atacada por el hongo en el estado (S9).

En las plantas inoculadas a los 30 días después de emergidas (D.D.E) (Foto 6a), se observó el daño causado por el hongo impidiendo el macollamiento de las plantas (Foto 6b y c); y la forma como se distribuía a lo largo del tallo de la planta, en el invernadero no se pudo observar los efectos que se ven en campo como la “rodilla de pollo”, ni las estructuras de resistencia (Peritecios), esto se debe principalmente por la ausencia de Nitrógeno en las plantas ya que este patógeno incrementa su agresividad por la utilización de este elemento (N)

**Figura 8.** Daño causado por el *G. graminis* var. *Graminis* a los 30 días de emergidas.

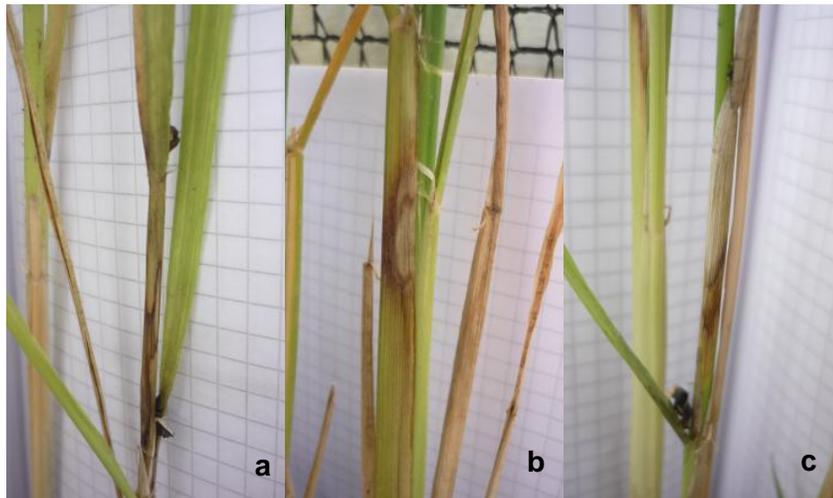


**a:** Inoculación de plántulas de arroz; **b:** Crecimiento micelio 8 días después de la inoculación; **c:** empiezan a aparecer los primeros síntomas en la inserción de los tallos y hojas.

Dada la cantidad de inoculo utilizada en las plantas, se esperaba que estas inoculaciones en el invernadero se pudiera observar la misma sintomatología que se observa en lotes comerciales, pero no fue así, se intuye que no se presentaron pues no habían las mismas condiciones que se presentan en campo como densidades de siembra adecuadas, lámina de agua permanente, temperaturas más estables que las que se pudieran presentar en el invernadero.

15 días después de la inoculación las plantas empiezan a mostrar los síntomas característicos de la enfermedad aparecen las lesiones características en los tallos, que suelen confundirse por lo general con *Rhizoctonia solani* (Foto 7a, b), se observa la lesión característica de la enfermedad que se presenta en la parte inferior donde se realizó la inoculación y empieza a ascender por el tallo de la planta, en campo este síntoma se encuentra en el cuello de la planta y no tan arriba como se observa en estas inoculaciones (Foto 7c).

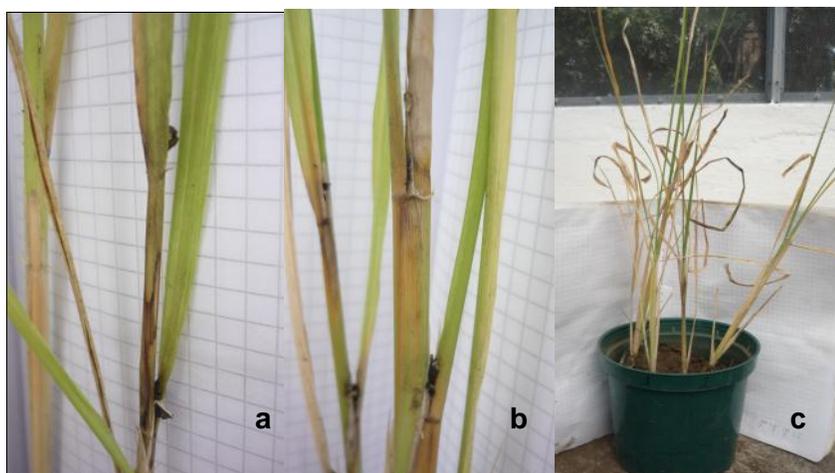
**Figura 9.** Lesiones causadas por *G. graminis* var. *graminis* en los tallos.



**a:** Síntoma característico de la enfermedad 15 días después de la inoculación; **b:** lesión característica en el tallo; **c:** síntoma característico en tallo de *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* que suele confundirse con *Rhizoctonia solani*.

En las plantas luego de 50 días después de haber sido inoculadas se observó que empieza a aparecer la coloración naranja en las bases de las hojas donde se inoculó el hongo (Foto 8a, b) Como resultado final se observa que la enfermedad causa la muerte de algunas de las plantas.

**Figura 10.** Efectos del *G. graminis* var. *graminis* en las bases de las hojas



**a:** Avance de la enfermedad a lo largo del tallo; **b:** debilitamiento del tallo empieza a aparecer el color anaranjado en la base de las hojas; **c:** ataque severo de *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* causando muerte de las plantas.

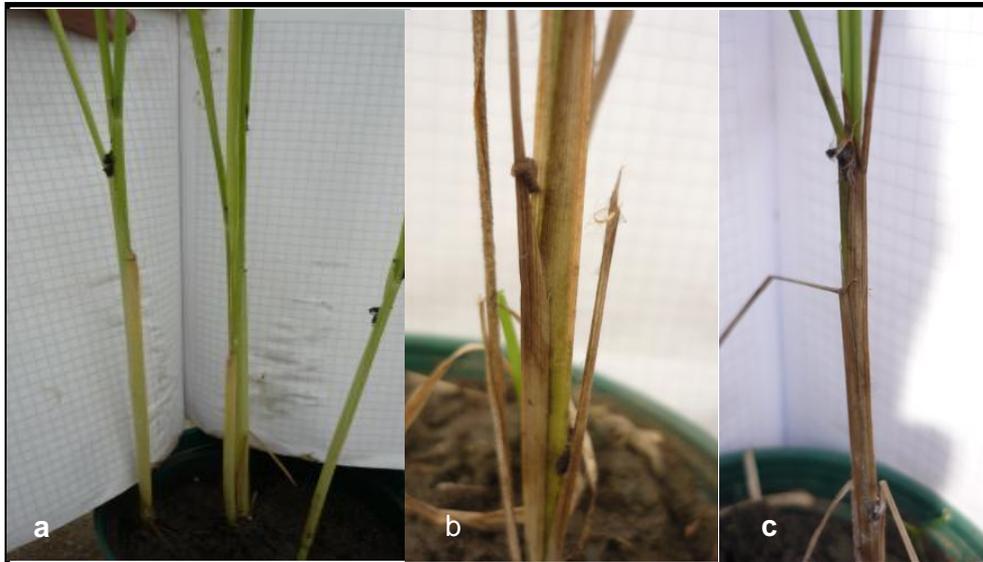
---

La segunda inoculación se realizó con plantas de 45 D.D.E, ya que en este momento la planta empieza la formación de primordio floral (foto 9a), etapa clave en la formación de la espiga, es en este momento fisiológico que la planta cambia de la fase vegetativa a la fase reproductiva. En esta etapa se observó una rápida colonización por parte del patógeno que afectó rápidamente a las plantas, se observó que a los 8 días después de la inoculación (foto 9b), algunas plantas tenían síntomas muy avanzados de la enfermedad, lo que podría indicar que esta es una etapa crítica para el cultivo y sería necesario hacer evaluaciones para detectar la presencia de la enfermedad y tomar medidas de control para evitar pérdidas económicas, ya que a los 17 días las plantas estaban muy afectadas por la enfermedad lo que también nos indica que el hongo es muy agresivo en este estado fenológico (Foto 9c).

Las plantas luego de 50 días después de ser inoculadas se observó coloraciones naranja en las bases de las hojas donde se inoculó el hongo mostrando un crecimiento ascendente hacia los ápices con posterior recubriendo a la totalidad del limbo foliar. Esto coincide con las observaciones realizadas por Annes y colaboradores (2007) en campos arroceros en Brasil.

Con relación a la infección inducida a los tallos el cuadro sintomático asociado a el hongo presento un patrón similar al descrito por Annes y colaboradores (2007) en los lotes de arroz afectados la enfermedad causo la maduración rápida de los granos y la muerte de los hijos, dependiendo de la época de su aparición durante la fase de desarrollo de la planta.

**Figura 11.** Segunda Inoculación, Colonización y efecto del *G. graminis* var. *Graminis* en plántulas con 45 D.D. E.



**a:** Inoculación de plantas de arroz 45 D.D.E; **b:** crecimiento del micelio 8 días después de la inoculación se puede observar la velocidad de crecimiento del micelio; **c:** 17 días después de la inoculación la enfermedad está afectando el tercio bajo de la planta.

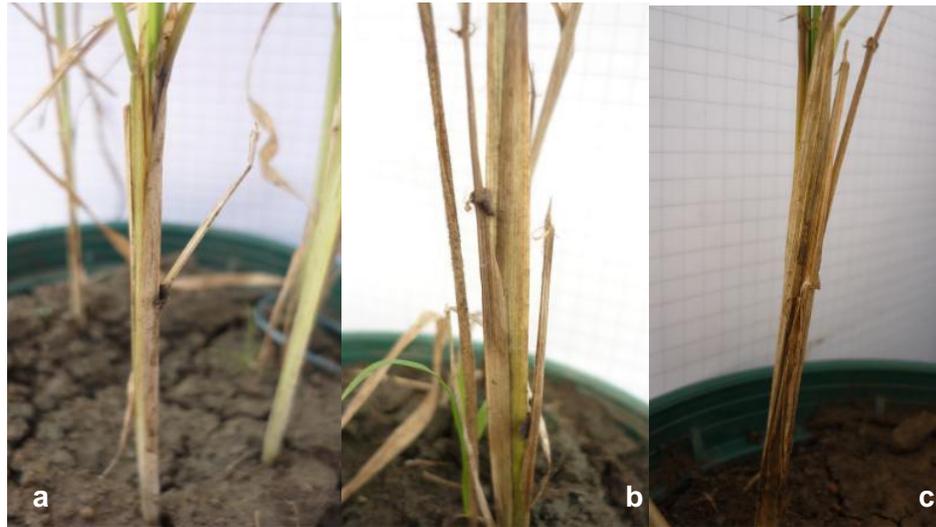
La tercera inoculación se realizó 70 D.D.E, en este momento la planta se encuentra en la etapa de máximo embuchamiento (Foto 10a, b), es una etapa importante en el desarrollo fisiológico, pues la planta se prepara para empezar la elongación de los nudos y dar espacio para el desarrollo y emergencia de la espiga. Se pudo observar un rápido desarrollo de los síntomas afectando el tallo de las plantas (Foto 10c).

Con la inoculación en este estado fenológico se observó que los efectos que tiene el hongo en la planta son más rápidos y severos debido seguramente a que la planta empieza a acumular foto asimilados para cumplir con la fase de “embuchamiento” del arroz y estos son aprovechados por el hongo para reproducirse más rápido y causar un mayor daño a su hospedante.

Cardona et al (2007) en Venezuela (CIAEP\_FONAIAP ) concluyo que en el patosistema *Gaeumannomyces graminis* – *Oryza sativa*, el patógeno presenta un micelio y se observa

hifopodios lobados de color marrón en contacto con las raíces extendiéndose hacia los tallos a los 70 días como se determinó en esta investigación.

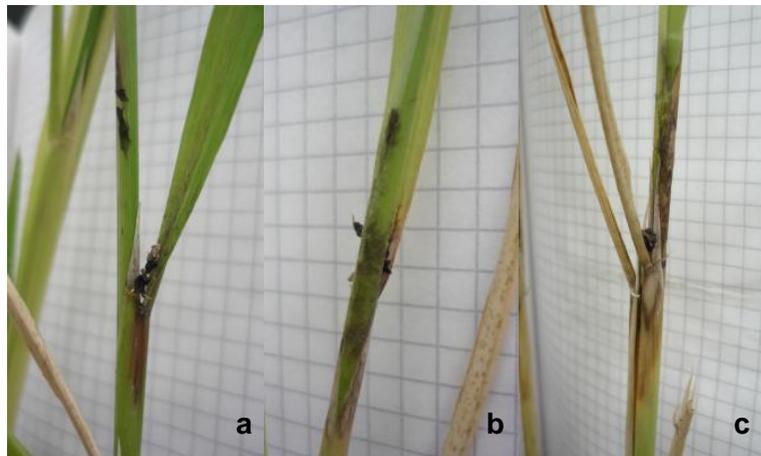
**Figura 12.** Tercera inoculación, colonización y efectos del *G. graminis* var. *Graminis* en plántulas con 70 D.D.E.



**a:** síntoma característico de la enfermedad en la planta y desarrollo del micelio sobre el tallo, **b:** se observa muerte de los macollos **c:** tallo de arroz completamente afectado por el hongo *G. graminis* var. *graminis*

La cuarta inoculación se realizó a los 90 D.D.E, es en este momento donde en la planta de arroz empieza a aparecer la espiga (foto 11a, b, c), la planta del arroz ya tiene la hoja bandera totalmente emergida, hoja que es responsable del llenado de los granos. Se observó en este estado la velocidad con que el hongo se desarrolla y se hace cada vez más claro que; entre más tarde ataque el hongo mayor es su desarrollo y poder infectivo (foto 12a,b,c). Se hace importante la toma de decisiones para controlar el desarrollo del patógeno para evitar pérdidas económicas.

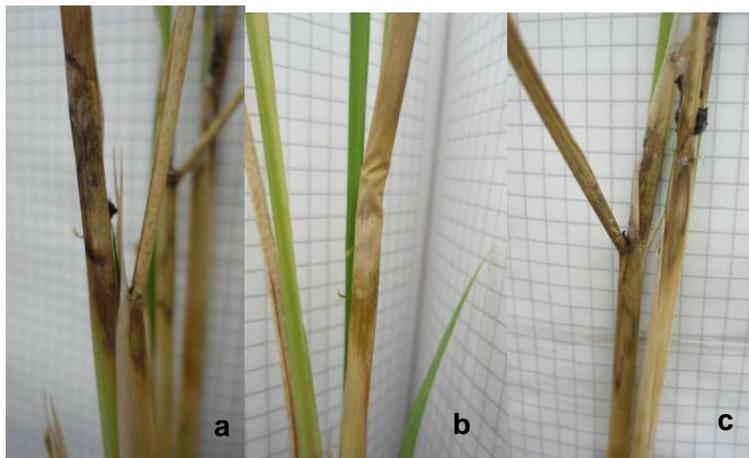
**Figura 13.** Cuarta inoculaciones, colonización y efecto del *G. graminis* var. *Graminis* en plántulas con 90 D.D.E.



**a:** inoculación con el hongo **b:** crecimiento del micelio 4 días después de la inoculación, **c:** se comienza a ver el síntoma característico del hongo en el tallo. 8 días después de la inoculación.

Si bien se observó que no hay diferencia visual alguna en la inoculación en los diferentes estados de plántula, en todos estos estados el común denominador fue la disminución en el macollamiento y la muerte de la planta pero no con una velocidad muy alta y no en todas las plantas, esto muestra que en los estados iniciales del arroz el patógeno no es tan agresivo y con los respectivos monitoreos se podría controlar la presencia o el avance de la enfermedad.

**Figura 14.** Desarrollo del *G. graminis* var. *graminis* en plantas maduras.



**a, b, c:** 18 días después de inoculación, en este estado se observó una mayor velocidad en el ataque del hongo y representa de manera similar los ataques que ocurren en campo.

Si se pudo observar que cuando la planta está en la etapa reproductiva después de los 45 D.D.E (Inicio de Primordio), 70 D.D.E (embuchamiento) y 90 D.D.E (inicio de espigamiento) los síntomas se reproducen con mayor velocidad, esto podría decir que son los estados más susceptibles para el ataque del patógeno, por la velocidad con que se producen estos y el momento ideal para diseñar estrategias de control para evitar o disminuir el avance de la enfermedad.

### **3.2 Diseñar una escala de calificación de reacciones crecientes de la infección *Gaeumannomyces graminis* en arroz.**

Con la ayuda de una cámara fotográfica digital se desarrolló esta escala de calificación, capturando el desarrollo de la enfermedad en diferentes estados fenológicos del cultivo a través del tiempo destacando los principales síntomas de la enfermedad.

Se tomaron hojas afectadas por el patógeno en diferentes lotes comerciales pertenecientes a agricultores proveedores de Arrocera La Esmeralda S.A, y se

fotografiaron con ayuda del programa **ImagenJ** se procedió a medir el área foliar de las hojas, y luego se procedió a medir el área afectada por la enfermedad.

**Figura 15.** Comparación con el programa **ImagenJ** de las aéreas foliares afectadas por el *G. graminis* var. *graminis*.



### 3.2.1 Escala de severidad en hojas

A continuación se presenta la escala de severidad en hojas, se propusieron 6 grados para la evaluación de la enfermedad, para desarrollar el diagnóstico en campo.

**Tabla 2.** Escala de severidad en hojas

GRADO	DESCRIPCION DEL DAÑO
1	Comienza la aparición de un color naranja en el ápice de la hoja y empieza a extenderse por un costado de la misma hacia la parte basal, hasta un 10% de la lámina foliar.
2	La coloración naranja se extiende por el borde de la hoja hacia la nervadura central y empieza a descender hacia la base de la hoja. Hasta un 20% de la lámina foliar.
3	La coloración naranja avanza hacia la parte basal de la hoja y empieza a afectar la nervadura central, hasta un 30% de la lámina foliar.
4	El extremo de la hoja ya presenta una coloración naranja intensa y abarca hasta un 40% de la lámina foliar.
5	El extremo apical de la hoja empieza a doblarse hacia el haz y la coloración naranja abarca hasta un 50% de la lámina foliar.
6	La hoja presenta un color anaranjado intenso y se extiende a lo largo de la hoja esta coloración abarca por encima del 51% de la hoja.

### 3.2.2 Escala diagramática de severidad en hojas.

Figura 16. Escalas diagramática de severidad en hojas.



### 3.2.3 Escala de severidad en tallos

A continuación se presenta la escala de severidad en tallos, se propusieron 6 grados para la evaluación de la enfermedad, para desarrollar el diagnóstico en campo.

**Tabla 3.** Escala de severidad en tallos.

GRADO	DESCRIPCION DEL DAÑO
1	Comienza la aparición del micelio del hongo de color gris verdoso hifas delgadas, que se asemejan a raíces diminutas que empiezan a crecer en tallo de la planta, que pasan casi imperceptibles al ojo humano.
2	El micelio se empieza a ver a simple vista y adquiere una tonalidad más oscura y avanza envolviendo el tallo de la planta
3	El micelio del hongo ya ha envuelto la totalidad el tallo de la planta y empieza a la vaina de la hoja a tomar una coloración café clara.
4	La base del tallo adquiere un color café oscuro con pequeñas vetas negras.
5	En la base del tallo la lesión se encuentra en los primeros 5 a 10 cm del suelo, la base del tallo se empieza a debilitar y se empiezan a evidenciar muerte de macollos
6	La base del tallo está completamente de color café oscuro y negro, la planta en su base está totalmente blanda se empiezan a observar gran cantidad de micelio.

### 3.2.4 Escala diagramática de severidad en tallos

Figura 17. Escala diagramática de severidad en tallos



Es necesario precisar que los primeros tres valores de esta escala no se observan en campo fácilmente, para verlos es necesario hacer muestreos destructivos, eliminando las hojas de la planta y observando con lupa la aparición del micelio o de peritecios, en invernadero si es fácil verlos por la cantidad de inoculo que se utiliza para poder lograr la

infección del hongo. Se recomienda que el evaluador que utilice esta escala debe tener en cuenta lo mencionado anteriormente para evitar un sesgo en la evaluación.

Numerosas investigaciones se han dirigido a escalas de reacciones infecciosas (Castaño, 2002). Han determinado gradientes diferenciales de enfermedades micóticas en proporciones (Severidad). En este trabajo las escalas propuestas guardan relación no sólo con el inicio, sino también con la progresión de la enfermedad según los tipos de tejidos afectados como raíces y tallos, y en hojas como expresiones tardías de la infección, coincidiendo con lo hallado por Fernández y colaboradores en el patosistema *Gaeumannomyces graminis*. var *graminis* – *Triticum spp*, 2007).

La elaboración de la escala de reacciones crecientes permite a los evaluadores en campo poder aproximar correspondencias de patrones que estén estrechamente relacionado con el con el “mal del pie”, (Zadok & Shein, 1990).

El objetivo por consiguiente se cumplió, en la medida que comprobó patrones de reacción creciente exclusivo del patosistema *Gaeumannomyces graminis* var. *triticum*– *Triticum spp* en relación al ambiente propicio para expresión del patógeno y el grado de susceptibilidad de los diferentes tejidos sometidos (Arauz, 2008).

### **3.3 Evaluar patrones de severidad de la enfermedad en planta en diferentes estadios (hojas y tallos).**

Con las escalas anteriormente elaboradas se procedió a validarlas y con la ayuda de estudiantes de Posgrado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, asistentes técnicos y agricultores se obtuvieron resultados que fueron analizados con la ayuda del Programa Minitab, con la idea de darle valides a las escalas propuestas y ver la aceptación por diferentes grupos de personas

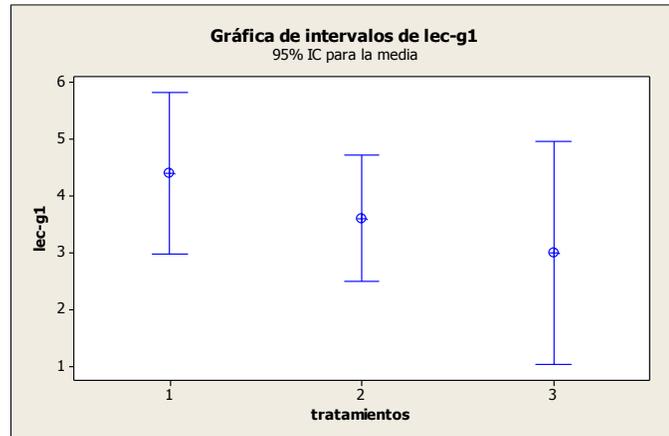
**Tratamiento 1:** Estudiantes de Maestría (10 personas)

**Tratamiento 2:** Asistentes Técnicos (10 personas)

**Tratamiento 3:** Agricultores (10 personas)

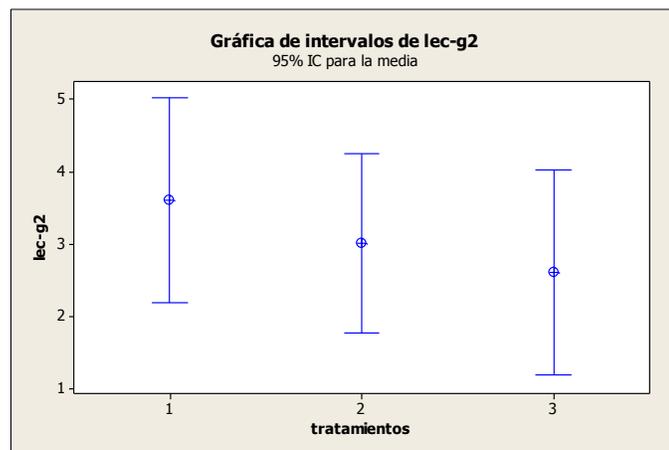
En todos los tratamientos (evaluadores) y en los grados evaluados no se presentaron diferencias significativas, lo que nos indica que las escalas son de fácil manejo por los estudiantes, técnicos y agricultores y se ajustan a la realidad (Ver anexos A).

**Grafica 1.** Intervalos de lec-g1 en los tratamientos 1, 2 y 3.



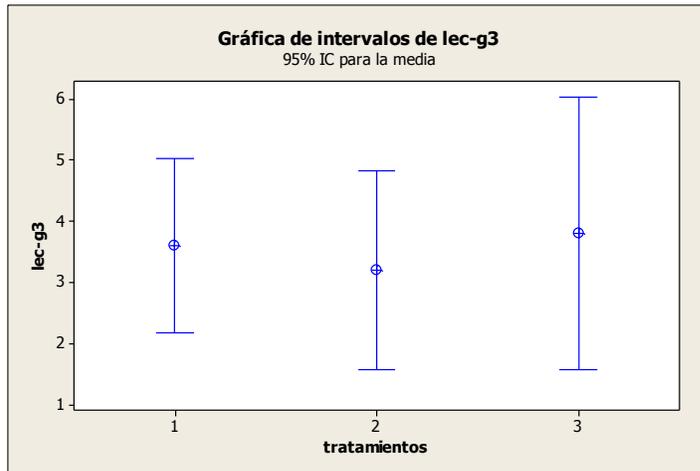
Para el Grado 1 los intervalos muestran que para el tercer (3) tratamiento el rango del intervalo es más amplio y para el segundo (2) tratamiento el rango es menor esto se produce por el desconocimiento del agricultor al patógeno y la no experiencia en el manejo de escalas de severidad, sin embargo muestra que no hay diferencias significativas en los tres tratamientos.

**Grafica 2.** Intervalos de lec-g2 en los tratamientos 1, 2 y 3.



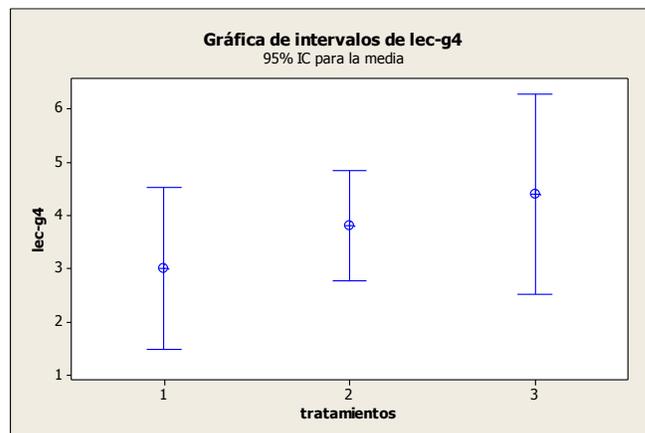
Para el Grado 2 se observa que para las tres repeticiones los rangos de intervalos son muy amplios, pero las medias son muy similares y no hay diferencias significativas entre los tratamientos

**Grafica 3.** Intervalos de lec-g3 en los tratamientos 1, 2 y 3.



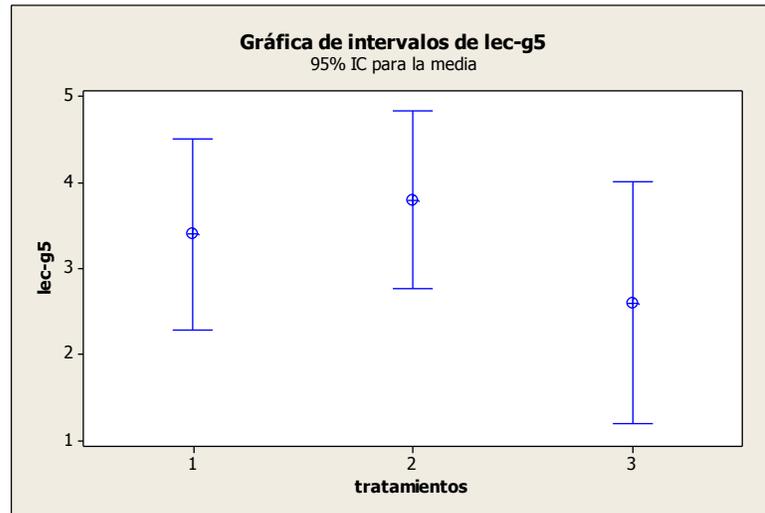
Para el Grado 3 sigue la tendencia, el rango para el tercer tratamiento es más amplio pero las medias muestran la precisión de la escala.

**Grafica 4.** Intervalos de lec-g4 en los tratamientos 1, 2 y 3.



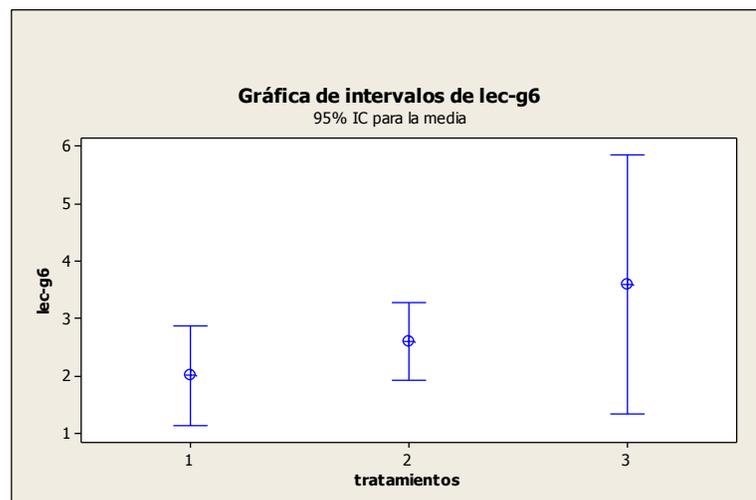
Para el grado 4 los intervalos muestran la misma tendencia, pero siguen mostrando la precisión de la escala. Nuevamente se ve la tendencia del agricultor a tener unos intervalos mas amplios y los tecnicos un intervalo menor.

**Grafica 5.** Intervalos de lec-g5 en los tratamientos 1, 2 y 3.



Para el Grado 5 se observó la misma tendencia que en los grados anteriores, los estudiantes y técnicos fueron más parejos en sus evaluaciones.

**Grafica 6.** Intervalos de lec-g6 en los tratamientos 1, 2 y 3.



Para el Grado 6 se presentó una evaluación casi que exacta entre los estudiantes y los técnicos, pero los agricultores mostraron la misma tendencia que en las evaluaciones anteriores, en este grado los agricultores mostraron dificultades en la lectura de la escala debido al rango que acá se manejó.

La validez por partes de los diferentes grupos de evaluadores que intervinieron en este estudio de las escalas diagramáticas de severidad, permitió establecer una metodología confiable para la cuantificación en el tiempo de la enfermedad.

Las escalas diagramáticas propuestas permitieron un mejor entendimiento de estas con base a su simplicidad, rapidez y bajo costo, suministrar resultados exactos, precisos y reproducibles (Gaunt, 1995; Castaño, 2001).

En todos los tratamientos se observó que si bien se presentaron diferencias en la utilización de la escala para los síntomas de la enfermedad, los tratamiento 1 y 2 estuvieron más uniformes durante todas las evaluaciones y el tratamiento 3 fue el que estuvo más disperso esto se debe principalmente al desconocimiento de la enfermedad y a la poca o nula educación fitopatológica.

Las escalas diagramáticas esbozadas en el presente estudio, redujeron los niveles o percepciones del grado de severidad de la enfermedad, cumpliendo con reducir la subjetividad de las estimaciones de intensidad de la infección, mejorando la exactitud y precisión de las evaluaciones, como se demostró con la población objetivo: (Nilsson, 1995).

**Agricultores arroceros>asistentes técnicos>estudiantes avanzados de cursos de posgrado en fitopatología.**

Los grupos de evaluadores en todos los casos mostraron conceptos valorativos diferentes, siendo muy poco variables (diferencia mínima significativa en las pruebas de medias, por lo que resulta correspondiente a la consideración de habilidad para discriminar diferentes de niveles de severidad en los estudiantes avanzados del posgrado en protección de cultivos, quienes al momento cursaban la signatura de epidemiología, en relación con los asistentes técnicos arroceros, y por ultimo menos habilidosos los agricultores arroceros con poca experticia en cuantificar enfermedades (Nutter Jr. y Schultz ,1995)

El fin primordial del presente trabajo era desarrollar una escala de severidades para el hongo *Gaeumannomyces graminis* Sacc.) von Arx & D. Oliver var. *graminis*, hongo que no era considerado de importancia para el cultivo del arroz y que en estos últimos años ha adquirido importancia económica en nuestro país.

La información de este patógeno afectando arroz es escasa por no decir que nula, esto limitaba la identificación y la posterior toma de decisiones para su manejo y control, propiciando el error de los técnicos y agricultores para su identificación y su respectivo manejo. Es por esta razón que la elaboración de escalas diagramáticas para el estudio de enfermedades fitopatológicas hacen parte del el mejoramiento genético de plantas, la evaluación de productos fitosanitarios y toma de decisiones en el ciclo del cultivo principalmente.

Lo que se buscó con la elaboración de estas escalas de severidad era proveer una herramienta de diagnóstico que fuera fácil y sencilla de utilizar por los agricultores y los asistentes técnicos y así evitar errores en el diagnóstico y control de la enfermedad.

Queda entonces en manos de investigadores para que puedan hacer evaluaciones acertadas, de asistentes técnicos para un buen diagnóstico y para los agricultores para que sepan que hongo es el que los está afectando.

Este trabajo espera servir como base para nuevos trabajos de epidemiología y para futuras investigaciones en el manejo y control de esta enfermedad.



## 4. Conclusiones y recomendaciones

Se determinó que el patógeno ataca durante todo el ciclo del cultivo, pero una vez empieza la fase reproductiva es más severa la enfermedad.

Se elaboraron escalas diagramáticas para identificar la enfermedad en hoja y en tallos.

Los patrones de severidad se ajustaron a las escalas propuestas en el presente trabajo.

No hubo diferencias significativas en los grupos de evaluadores, lo que demuestra la precisión de las dos escalas propuestas.

Las escalas diagramáticas propuestas para evaluar el patosistema *Gaeumannomyces graminis* – *Oryza sativa* presentada en ésta investigación representa una herramienta valiosa para los evaluaciones en pruebas de campo y de invernadero en estudios de resistencia en germoplasma, estudios fitopidemiológicos y comparación de métodos de control de la enfermedad.

### 4.2 Recomendaciones

Evaluar estas escalas en variedades de arroz en diferentes ambientes y sistemas de siembra.

Validar la escala con grados de capacitación diferencial de experiencia en agricultores de otras zonas arroceras.

Correlacionar los grados de las escalas propuestas, con pérdidas de rendimiento en el cultivo de acuerdo a zonas que presenten condiciones ambientales altamente favorables al patógeno, con el fin de establecer curvas epidemiológicas con ajuste de las funciones ambiente- hospedante – patógeno.



## **A. Anexo: Análisis de regresión general**

➤ **Análisis de regresión general: Gado 1 versus tratamientos. Repeticiones**

Ecuación de regresión

Lec-g1 = 5,46667 - 0,7 tratamientos - 0,133333 repeticiones

Coeficientes

EE del Término	Coef	coef.	T	P
Constante	5,46667	1,06940	5,11191	0,000
Tratamientos	-0,70000	0,38622	-1,81243	0,095
Repeticiones	-0,13333	0,22298	-0,59795	0,561

Resumen del modelo

S = 1,22134 R-cuad. = 23,29% R-cuad. (Ajustado) = 10,50%

PRESS = 29,1436 R-cuad. (pred.) = -24,90%

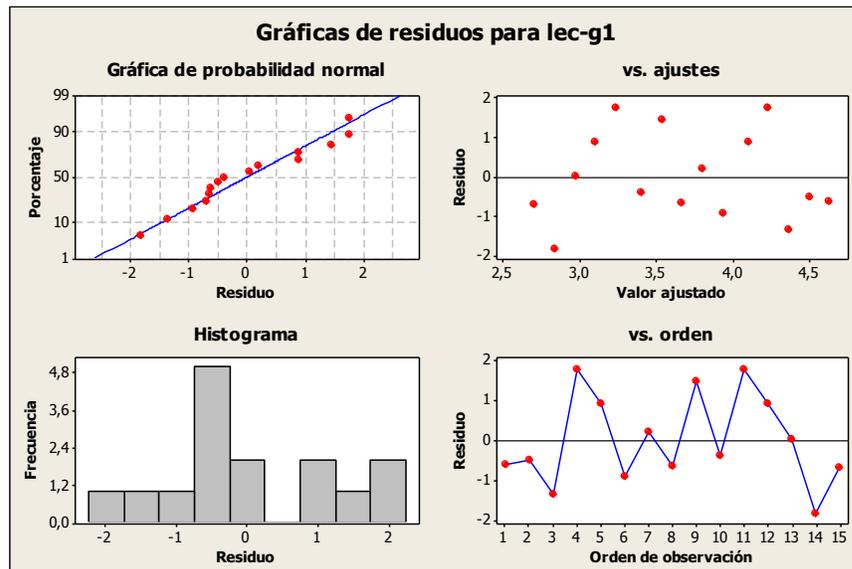
Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	2	5,4333	5,4333	2,71667	1,82123	0,203825	
tratamientos	1	4,9000	4,9000	4,90000	3,28492	0,094997	
repeticiones	1	0,5333	0,5333	0,53333	0,35754	0,560990	
Error	12	17,9000	17,9000	1,49167			
Total	14	23,3333					

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

No hay observaciones poco comunes

### Grafica de residuos para el grado 1 de la enfermedad



#### ➤ Análisis de regresión general: Grado 2 versus tratamientos. repeticiones

Ecuación de regresión

$$\text{lec-g2} = 4,36667 - 0,5 \text{ tratamientos} - 0,1 \text{ repeticiones}$$

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	4,36667	0,950244	4,59531	0,001
tratamientos	-0,50000	0,343188	-1,45693	0,171
repeticiones	-0,10000	0,198139	-0,50469	0,623

Resumen del modelo

S = 1,08525    R-cuad. = 16,54%    R-cuad. (ajustado) = 2,62%

PRESS = 21,7230    R-cuad. (pred.) = -28,29%

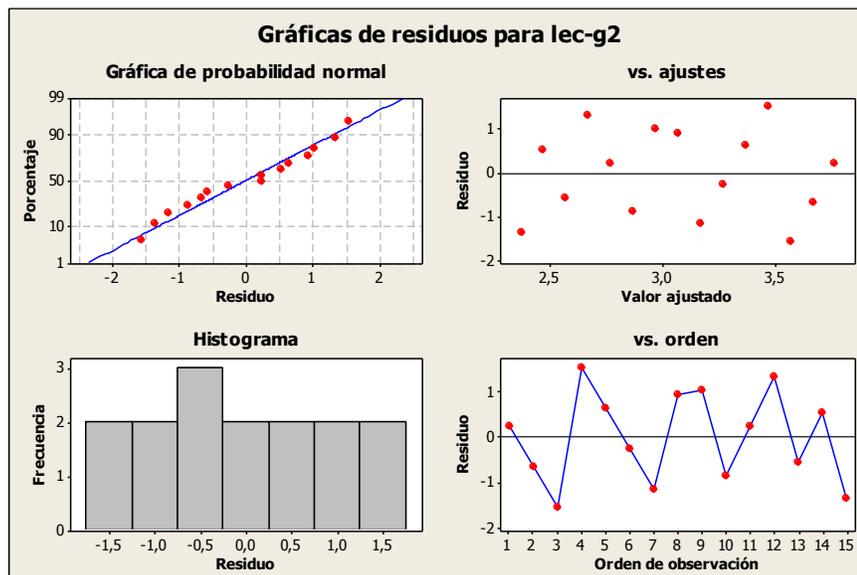
### Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	2	2,8000	2,8000	1,40000	1,18868	0,338075
tratamientos	1	2,5000	2,5000	2,50000	2,12264	0,170801
repeticiones	1	0,3000	0,3000	0,30000	0,25472	0,622913
Error	12	14,1333	14,1333	1,17778		
Total	14	16,9333				

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

No hay observaciones poco comunes.

### Gráfica de residuos para el grado 2 de la enfermedad.



➤ **Análisis de regresión general: Grado 3 versus tratamientos. Repeticiones**

Ecuación de regresión

$$\text{lec-g3} = 3,43333 + 0,1 \text{ tratamientos} - 0,0333333 \text{ repeticiones}$$

Coeficientes

EE del

Término	Coef	coef.	T	P
Constante	3,43333	1,27889	2,68462	0,020
tratamientos	0,10000	0,46188	0,21651	0,832
repeticiones	-0,03333	0,26667	-0,12500	0,903

Resumen del modelo

$$S = 1,46059 \quad R\text{-cuad.} = 0,52\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = -16,06\%$$

$$\text{PRESS} = 41,2658 \quad R\text{-cuad. (pred.)} = -60,36\%$$

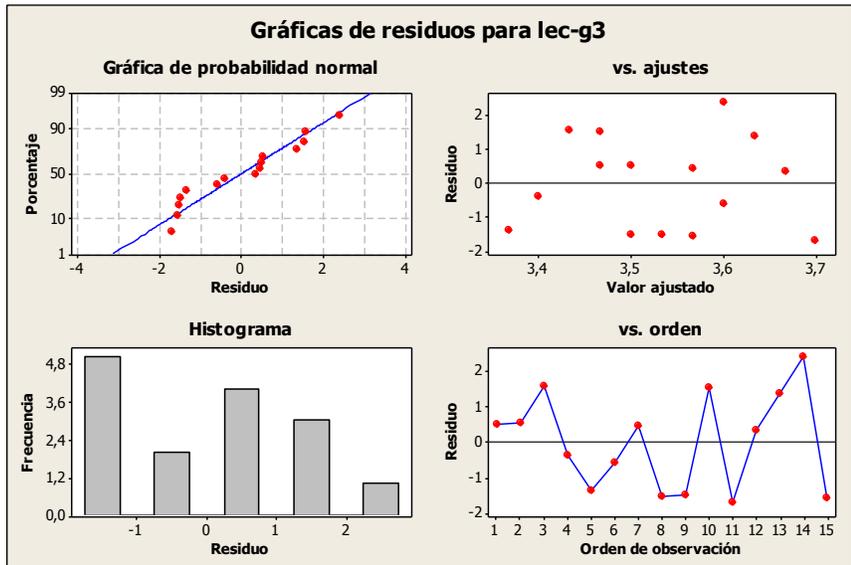
Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	2	0,1333	0,1333	0,06667	0,031250	0,969312
tratamientos	1	0,1000	0,1000	0,10000	0,046875	0,832230
repeticiones	1	0,0333	0,0333	0,03333	0,015625	0,902593
Error	12	25,6000	25,6000	2,13333		
Total	14	25,7333				

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

No hay observaciones poco comunes.

**Grafica de residuos para el grado 3 de la enfermedad.**



➤ **Análisis de regresión general: Grado 4 versus tratamientos. Repeticiones**

Ecuación de regresión

$$\text{lec-g4} = 1,73333 + 0,7 \text{ tratamientos} + 0,2 \text{ repeticiones}$$

Coefficientes

EE del

Término	Coef	coef.	T	P
Constante	1,73333	1,03705	1,67142	0,120
tratamientos	0,70000	0,37454	1,86898	0,086
repeticiones	0,20000	0,21624	0,92490	0,373

Resumen del modelo

S = 1,18439    R-cuad. = 26,60%    R-cuad. (ajustado) = 14,37%

PRESS = 28,2468    R-cuad. (pred.) = -23,17%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	2	6,1000	6,1000	3,05000	2,17426	0,156393
tratamientos	1	4,9000	4,9000	4,90000	3,49307	0,086220
repeticiones	1	1,2000	1,2000	1,20000	0,85545	0,373242
Error	12	16,8333	16,8333	1,40278		
Total	14	22,9333				

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

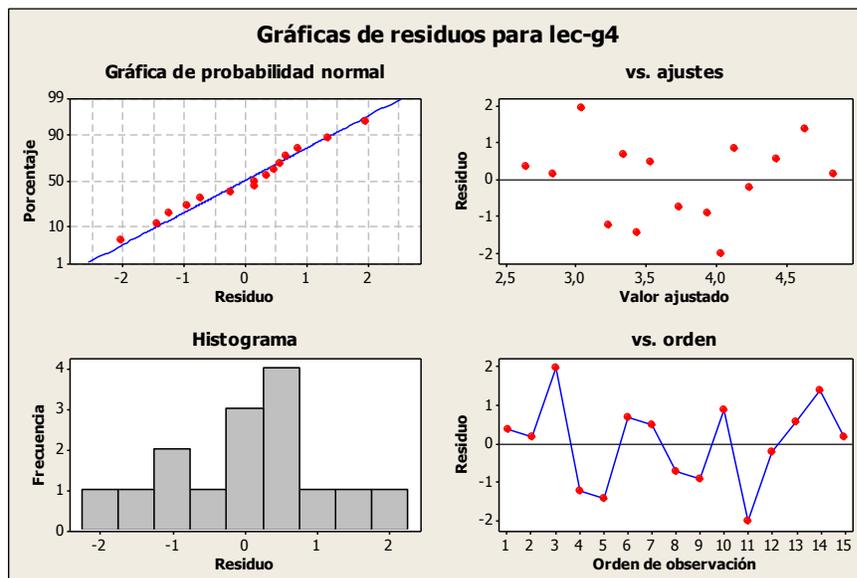
Residuo

Obs lec-g4 Ajuste EE de ajuste Residuo estándar

11 2 4,03333 0,648717 -2,03333 -2,05194 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande

Gráfica de residuos para el grado 4 de la enfermedad



➤ **Análisis de regresión general: Grado 5 versus tratamientos. repeticiones**

Ecuación de regresión

$$\text{lec-g5} = 3,66667 - 0,4 \text{ tratamientos} + 0,133333 \text{ repeticiones}$$

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	3,66667	0,904311	4,05465	0,002
tratamientos	-0,40000	0,326599	-1,22474	0,244
repeticiones	0,13333	0,188562	0,70711	0,493

Resumen del modelo

$$S = 1,03280 \quad R\text{-cuad.} = 14,29\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 0,00\%$$

$$\text{PRESS} = 19,6306 \quad R\text{-cuad. (pred.)} = -31,45\%$$

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	2	2,1333	2,1333	1,06667	1,0	0,396569
tratamientos	1	1,6000	1,6000	1,60000	1,5	0,244170
repeticiones	1	0,5333	0,5333	0,53333	0,5	0,493004
Error	12	12,8000	12,8000	1,06667		
Total	14	14,9333				

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

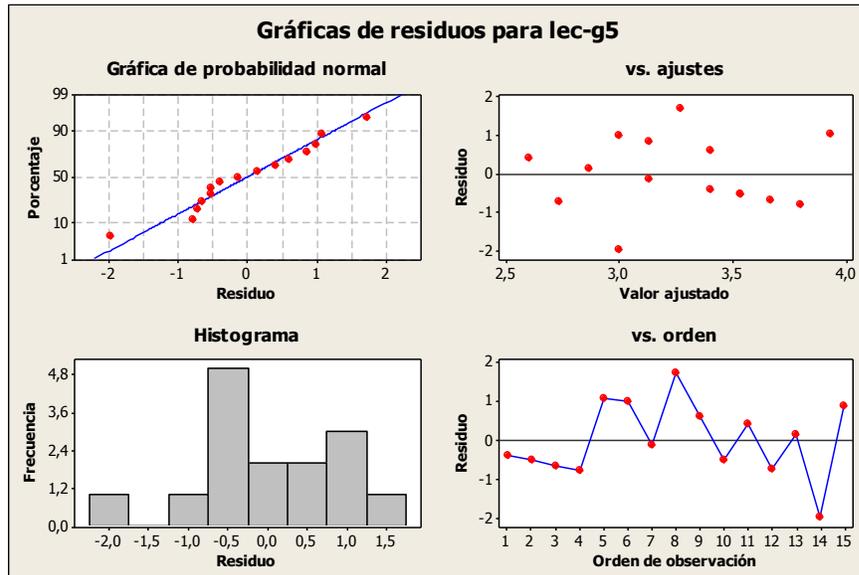
Residuo

Obs lec-g5 Ajuste EE de ajuste Residuo estándar

14 1 3 0,461880 -2 -2,16506 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

**Grafica de residuos para el grado 5 de la enfermedad**



➤ **Análisis de regresión general: lec-g6 versus tratamientos. repeticiones**

Ecuación de regresión

$$\text{lec-g6} = 1,33333 + 0,8 \text{ tratamientos} - 0,0666667 \text{ repeticiones}$$

Coeficientes

EE del

Término	Coef	coef.	T	P
Constante	1,33333	1,02361	1,30258	0,217
tratamientos	0,80000	0,36968	2,16401	0,051
repeticiones	-0,06667	0,21344	-0,31235	0,760

Resumen del modelo

S = 1,16905    R-cuad. = 28,49%    R-cuad. (ajustado) = 16,57%

PRESS = 29,2531    R-cuad. (pred.) = -27,56%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	2	6,5333	6,5333	3,26667	2,39024	0,133740
tratamientos	1	6,4000	6,4000	6,40000	4,68293	0,051342
repeticiones	1	0,1333	0,1333	0,13333	0,09756	0,760137
Error	12	16,4000	16,4000	1,36667		
Total	14	22,9333				

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

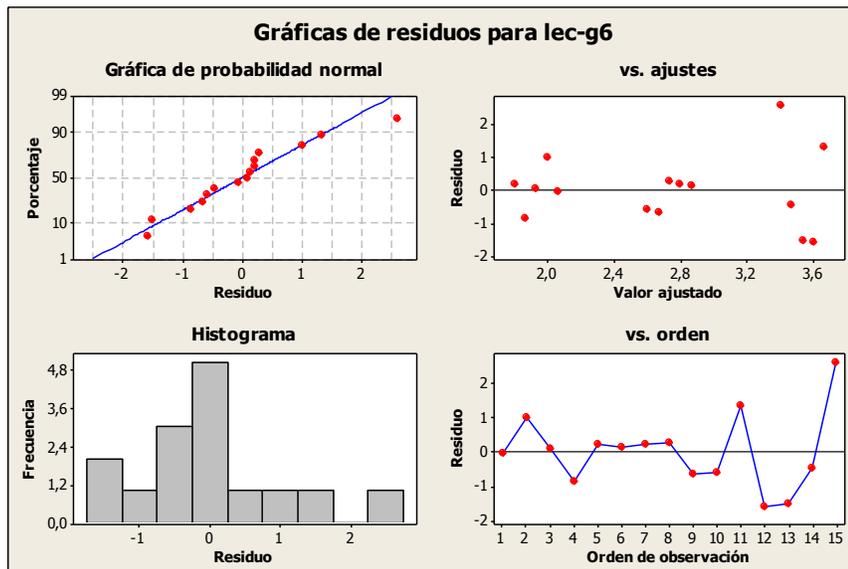
Residuo

Obs lec-g6 Ajuste EE de ajuste Residuo estándar

15 6 3,4 0,640312 2,6 2,65823 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Gráfica de residuos para el grado 6 de la enfermedad



## Bibliografía

Anne, S.P.; Marta, C. 2002. Filippi ocorrência do mal-do-pé causado por *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*, uma nova enfermidade em arroz no Brasil fitopatol. Bras. 27(4), jul - ago.

Barnett, H. 1985. Illustrated Genera of imperfect Fungi. Department plant Pathology bacteriology and entomology. West Virginia University. Burgess Publishing Co. Tercera edición. Minneapolis.

Barnett, H.; Hunter, B. 1998. Illustrated Genera of imperfect Fungi. Department plant pathology bacteriology and entomology. West Virginia University. Burgess Publishing Co. Cuarta edición. Minnesota.

Cardona, R.; Rodríguez.; Nass, H.H.A. 1995. *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*, hongo causante de la pudrición negra de la hoja envainadora del arroz en Venezuela, [Revista del Decanato de Agronomía, UCLA](#) v. 7(2) p.31-37. May-Ago.

Castaño, Z. J. 2005. Principios básicos de fitopatología; Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de fitotecnia.

Correa, F. 1997. Manejo integrado de enfermedades en arroz. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1997. 147 p. – (Publicación CIAT; n° 292).

Datnoff, L.E.; Elliot, M.L.; Jones, D.B. 1997. Black sheat rot caused by *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* on rice Florida. [Sección de libro] // Black sheat rot caused by *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* on rice Florida.. - [s.l.] : Plant disease, 1993.

FAO. 2006, (FAOSTAT 2006).

FAO. 2004. Año internacional de Arroz.

Franquet, B.; Borràs, P. 2006. Economía del arroz: Variedades y mejora [libro en línea]. Edición electrónica. En (<http://eumed.net/libros/2006a/fbbp/>). [Marzo de 2008].

Garrido, R. M. 2009 Manejo de pudrición de la pudrición de tallos y vainas del arroz, Tumbes.

Giuvan, L.; Silveiro, B. R.; Dalla, G. C.; Nascimento, L. M.; Debonal, D. 2010. Escala diagramática para avaliação de severidade de mancha-parda em arroz *Ciência Rural*, Santa Maria, v.40, n.4, p.752-758, abr.

Gramene. 2006. Gramene species: cereal statistic (en línea). US. Consultado 17 oct. 2011. Disponible en: <http://www.gramene.org/species/cereals.html>

Hernández, T. T. 2005. Epidemiología, Fundamentos de Análisis y Manejo Sistémico de Epidemias de Cultivos Tropicales. INCADES, Chimbote, Perú.

Hernández, T. Tito.; Montoya, H. R. 2011. Epidemiología Cuantitativa Aplicada al Análisis de Algunas Enfermedades de Cultivos Tropicales (en línea). Consultado el 20 de octubre de 2011, [http://books.google.com.co/books?id=PjpkAAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=qbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.co/books?id=PjpkAAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=qbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Hernández, J. 2001. Aventis Crop Science, Colombia IV Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. Varadero, Cuba. 11-15 junio 2001.

Fernández, P. J.; Corro, M.A. 2007. Pietín de los Cereales. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-agricultura/trigo/articulos/pietin-cereales-t1722/998-p0.htm>

<http://www.sinavimo.gov.ar/plaga/gaeumannomyces-graminis-var-tritici>.

<http://www.tecnicoagricola.es/estados-fenologicos-del-arroz-escala-extendida-bbch/>

<http://www.agronet.gov.co>

Kranz, J. 1974 Measuring Plant Disease, In: J. Kranz and J. Rotem (eds.) Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology. Springer – Verlag Berlin, Heidelberg. Pp. 35 - 50.

Martínez, R. C.; Motta, O. F. 2010. Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) 2010 487 p.

Melcón, C. D. F.; Barcia, M. P. 2004. Superficies de Respuesta Métodos y Diseños.

Ospina, G. J. Ó. 2009. Alternativas de control de la mancha naranja (*Gaeumannomyces graminis* var. *Graminis* REVISTA ARROZ - VOL. 57 No. 479 Pág. 13- 21).

Ou Shu Huang. 1985. Rice diseases [Libro]. - [s.l.] : International Rice Research, 2a : pág. 380.

Pantoja, A.; Fisher, A.; Correa- Victoria, F.; Sanint, L.R.; Ramírez, Á. 1997. MIP en arroz: manejo integrado de plagas; artrópodos, enfermedades y malezas. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1997. 147 p. – (Publicación CIAT; n° 292)).

Peláez, P. Manuel; comunicación personal 2011.

Prestes, A.M.1972. Acerca do mal do pé do trigo (*Ophiobolus graminis*) no Rio Grande do Sul. Revista da Sociedade Brasileira de Fitopatologia 5:169-170.

Reis, E. Melo. 1989. Doenças do trigo II: O mal do-pé. Ciba Geigy. 15 pp

Smith, I.M.; Dunez, J.; Lelliott, R.A.; Phillips, D.H.; Archer, S.A. 1988. Manual de Enfermedades de las plantas, ediciones mundi-prensa).

Soto, R. L. 2010. Evaluación de Severidad de Antracnosis en Frutos de Mango Usando Proyecciones Geométricas Obtenidas de Imágenes Digitales, Tesis de Grado para obtener el título de Maestro en Ciencias, Montecillo, Texcoco, Edo. De México.

Van Der Plank, J.E. 1963. Plant Disease: Epidemics and control. Academic Press, New York. 349 p. 1963.

Walker, J. 1975. Take-all diseases of gramineae: a review of recentwork. Review of Plant Pathology 54:113-144.

Whitney, N. 1990. Fungicide performance on Black Sheath Rot of rice. [Libro]. - Texas : Texas Agricultural Experiment Station, Texas A & M University System, 1990.