

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias de la Vida

Elaboración y Validación de un Diagrama de Área Estándar para la
Cuantificación de la Mancha Foliar en Arroz.

Proyecto de Titulación

Previo la obtención del Título de:

Magíster en Sanidad Vegetal

Presentado por:

Anthony Roberto Valle Choez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a mi madre,
quien ha sido mi mayor soporte en cada
decisión independientemente de lo compleja
que esta pueda ser. Le agradezco por tener
plena confianza en mí y por ese amor
incondicional que nunca me ha faltado. Sin
aquello, nada de esto habría sido posible.
Con todo mi amor y gratitud.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el doctor Pablo Álvarez, quien con su experiencia, paciencia y compromiso me guió a través de este proceso, contribuyendo de manera significativa a mi formación como profesional.

Declaración Expresa

Yo Anthony Roberto Valle Choez acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 13 de julio del 2025.

Anthony Roberto Valle Choez

Evaluadores

Adriana Patricia Santos Ordoñez

Profesor de Materia

Pablo Israel Álvarez Romero

Tutor de proyecto

Resumen

El arroz es uno de los cultivos más importantes en el mundo. Su producción se ve afectada por factores bióticos y abióticos poniendo en riesgo la seguridad alimentaria. *Alternaria padwickii* es uno de los organismos causantes del manchado del grano y causante principal de la mancha foliar. Actualmente no existe una herramienta que permita la estimación de severidad de esta enfermedad en hojas, por lo que el objetivo de este trabajo es desarrollar un diagrama de área estándar (SAD) que facilite las estimaciones. El SAD fue desarrollado usando imágenes reales y el lenguaje de programación R mediante la librería pliman. Los datos fueron analizados por medio de pruebas de equivalencia y comparaciones de medias usando pruebas de t de Student. El SAD desarrollado mejoró de manera significativa ($p < 0.05$) la precisión, exactitud y concordancia de los evaluadores cuando fue usado por aquellos que tenían experiencia. Sin embargo, cuando fue usado por evaluadores sin experiencia, la prueba de t mostró que el SAD no mejora la exactitud. Por lo tanto, el SAD desarrollado mejora en gran medida la precisión, exactitud y concordancia cuando es usado por evaluadores con experiencia.

Palabras Clave: Mancha foliar, R, pliman, SAD, concordancia.

Abstract

Rice is one of the most important crops in the world. Its production is affected by biotic and abiotic factors, posing a risk to food security. Alternaria padwickii is part of the complex of organisms responsible for grain discoloration and is the main cause of stackburn disease. Currently, there's no tool available to estimate the severity of this disease on leaves. So, the objective of this study is to develop a Standard Area Diagram (SAD) to facilitate such estimations.

The SAD was developed using real images and the R programming language through the pliman library. The data were analyzed using equivalence tests and mean comparisons via Student's t-tests. The results showed that the developed SAD significantly improved ($p < 0.05$) the precision, accuracy, and agreement when is used by experienced evaluators. However, when used by inexperienced evaluators, the t-test showed that the SAD didn't improve accuracy. Therefore, the developed SAD greatly enhances precision, accuracy, and agreement when used by experienced evaluators.

Keywords: stackburn disease, R, pliman, SAD, agreement

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice general	III
Abreviaturas	V
Simbología	VI
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	VII
Capítulo 1	8
1.1. Introducción	9
1.2. Descripción del Problema	11
1.3. Justificación del Problema	12
1.4. Objetivos	12
1.4.1. Objetivo general	12
1.4.2. Objetivos específicos	13
1.5. Marco teórico	13
1.5.1. El arroz y la seguridad alimentaria	13
1.5.2. Cultivo de arroz en el mundo	14
1.5.3. Características generales de la planta de arroz	15
1.5.4. Mancha foliar del arroz	16
1.5.5. Cuantificación de las enfermedades en plantas	19
1.5.6. Diagrama de área estándar (SAD)	19
1.5.7. Validación de diagramas de área estándar	21
Capítulo 2	22
2. Metodología	23

2.1.	Muestreo de hojas con el síntoma de la enfermedad	23
2.2.	Procesamiento de imágenes	23
2.3.	Cuantificación de la severidad	23
2.4.	Definición de los límites mínimo y máximo de severidad	24
2.5.	Creación del diagrama de área estándar	25
2.6.	Estimación de la severidad	27
2.7.	Procesamiento y análisis de datos	27
Capítulo 3	.....	30
3. Resultados y análisis	.....	31
	.....	42
Capítulo 4	.....	52
4.1. Conclusiones y recomendaciones	.....	53
4.1.1. Conclusiones	.....	53
4.1.2. Recomendaciones	.....	54
Referencias	.....	55
Anexo 1	.....	60
Anexo 2	.....	61
Anexo 3	.....	62

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

GEI Gases de efecto invernadero

IC Intervalo de Confianza

SAD Standard Area Diagram

Simbología

C_b	Factor de corrección Bias
CCC	Coeficiente de correlación de concordancia de Lin
cm	Centímetro
p	Nivel de significancia estadística
r	Coeficiente de correlación de Pearson
u	Scale shift
v	Location shift

Índice de figuras

Figura 1	18
Figura 2	24
Figura 3.	26
Figura 4	32
Figura 5	33
Figura 6	35
Figura 7	37
Figura 8	38
Figura 9.	42
Figura 10	44

Índice de tablas

Tabla 1	40
Tabla 2	45
Tabla 3	47
Tabla 4	48
Tabla 5	49

Capítulo 1

1.1. Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cereales más consumidos en el mundo, más de la mitad de la población mundial lo consume, especialmente en países no desarrollados y en vías de desarrollo. El cultivo de arroz es clave para la seguridad alimentaria mundial debido a que es una fuente económica de calorías y nutrientes, así como también, juega un rol crucial en la economía, ya que genera empleo a millones de agricultores, para quienes es su principal fuente de ingresos económicos.

Las especies más consumidas en el mundo son *Oryza sativa* L., la cual es la más consumida, y *Oryza glaberrima*. La primera se divide en tres subespecies *O. sativa* ssp. indica, *O. sativa* ssp. japónica y *O. sativa* ssp. javanica, las cuales satisfacen la mayor parte de la demanda de arroz a nivel mundial. La subespecie indica se caracteriza por ser de grano largo y por tener mayor contenido de amilosa lo cual le da una textura sólida y no glutinosa después de la cocción, mientras que, la subespecie japónica se caracteriza por ser de grano corto y por tener menor contenido de amilosa en comparación con las subespecies indicas, lo cual le da una contextura pegajosa después de la cocción. Finalmente la subespecie javanica, la cual tiene granos más largos y anchos que las demás subespecies de *O. sativa*, no es tan consumida, siendo su mayor consumo en países asiáticos como Indonesia. La especie *O. glaberrima* se consume específicamente en el continente africano y se caracteriza por ser tolerante o resistente a condiciones bióticas y abióticas adversas, lo cual la convierte en una pieza clave en los programas de mejoramiento para la obtención de híbridos o variedades tolerantes y/o resistentes a condiciones de estrés biótico y abiótico (Long et al., 2022).

El arroz una especie autógena, herbácea y anual que pertenece a la familia Poaceae o comúnmente denominada familia de las gramíneas. Se caracteriza por tener tallos erectos, también

conocidos como macollos; posee hojas alargadas, la cuales varían de tono según la variedad o especie, siendo verdes claras, oscuras o violáceas y, según la etapa fenológica en la que se encuentre el cultivo, estas pueden llegar a tener tonos anaranjados o marrones tal como sucede en la etapa de maduración. El ciclo del cultivo de arroz comprende tres etapas o fases fenológicas que son la fase vegetativa, reproductiva y de maduración. La fase vegetativa comprende desde la germinación hasta el máximo macollamiento y puede durar de 40-50 días contados después de la germinación, posteriormente está la fase reproductiva la cual comprende desde la iniciación de la espiga hasta la floración o antesis y puede durar de 80-95 días después de la germinación y, finalmente, la fase de maduración, la cual inicia con el llenado de los granos y culmina cuando estos alcanzan su madurez, es decir hasta los 130 días según la variedad (Vijay & Roy, 2013).

La sostenibilidad de la producción se ve amenazada por varios factores bióticos y abióticos, los cuales se vuelven más notorios debido al calentamiento global, así como también por las malas prácticas de manejo del cultivo. Uno de los factores más importantes que amenazan su sostenibilidad es el ataque de plagas y enfermedades causando pérdidas anuales que alcanzan el 30 % a nivel global (Savary et al., 2019). Una de las enfermedades que causan mayores problemas es el manchado del grano, la cual es causada por un complejo de hongos y bacterias, entre los cuales se encuentra el hongo ascomiceto *Alternaria padwickii* (Ganguly) M.B. Además de su estrecha relación con el manchado del grano, este hongo causa la enfermedad conocida como la mancha foliar o alternariosis del arroz, la cual se caracteriza por la formación de lesiones necróticas con bordes de color café oscuro cuyo centro es de color gris en etapas tempranas y café en etapas avanzadas. En fases iniciales de infección se presentan manchas circulares u ovales con bordes poco definidos, los cuales adquieren un tono más oscuro y pasan a ser irregulares en estadios más avanzados (Quintana et al., 2017).

La manifestación de este hongo en las hojas se puede correlacionar con su protagonismo como parte del complejo de organismos causantes del manchado del grano, por tal motivo, las evaluaciones de esta enfermedad deben ser consideradas en los programas de mejoramiento genético, ya que, en la actualidad no existen metodologías para cuantificar el daño producido por la mancha foliar en arroz. Esto es posible mediante el soporte de herramientas tecnológicas, ya que se encuentran a disposición algunas que facilitan la generación de estas metodologías y contribuyen a la investigación en las ciencias agropecuarias, entre ellas se encuentra el lenguaje de programación R, el cual es un lenguaje de programación que posee una amplia gama de librerías que permiten, principalmente, el análisis de datos y la visualización mediante gráficos. Así, es posible el desarrollo de herramientas que asistan a la evaluación de enfermedades en los cultivos, y de gran importancia para facilitar la toma de decisiones que contribuyan a mejorar la sostenibilidad del cultivo de arroz en el mundo.

1.2. Descripción del Problema

El cultivo de arroz es susceptible al ataque de varios patógenos que afectan a todos los órganos de la planta, uno de ellos es *Alternaria padwickii*, el cual afecta a las semillas provocando manchado del grano, y al tejido foliar causando lesiones necróticas con márgenes irregulares. Se han desarrollado escalas que permiten la evaluación y cuantificación del daño de la mayoría de las enfermedades en el cultivo de arroz, sin embargo, no existen metodologías para cuantificar el daño de la enfermedad de la mancha foliar causado por *A. padwickii*. Esto constituye un problema en los programas de fitomejoramiento ya que, al no tener una forma de evaluación para esta enfermedad, no es posible realizar una cuantificación precisa del daño causado, lo cual impide realizar una correcta selección de genotipos tolerantes.

1.3. Justificación del Problema

La ausencia de escalas o diagramas que permiten la cuantificación del daño ocasionado por *A. padwickii* impide estimar con precisión la proporción de daño o severidad que este hongo causa en el cultivo de arroz, específicamente en las hojas. A pesar de que la principal preocupación debido a la presencia de este hongo en los campos de arroz es el manchado de las semillas, no es posible determinarlo con facilidad, ya que, el manchado es una enfermedad que es causada por un complejo de hongos y bacterias, entre las cuales se encuentra *A. padwickii* (Chhabra & Vij, 2020). Así, la manifestación de una infección por parte de este hongo en las hojas se puede correlacionar con la aparición de semillas manchadas. Además, existen otras consecuencias debido a este patógeno, tales como la reducción del área fotosintética, lo cual conduce a un bajo rendimiento, así como también, al hecho de que el hongo se puede multiplicar y provocar mayores daños a mediano y largo plazo en ciclos de cultivo subsiguientes. Entonces, como medida para facilitar la detección y disminuir la presencia de este hongo en los campos de arroz, es necesario que en los programas de fitomejoramiento se tenga a disposición un diagrama de área estándar que faculte la cuantificación del daño ocasionado por *A. padwickii* de una manera precisa y, de esta manera, seleccionar los genotipos que presenten una mayor tolerancia.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Elaborar y validar un diagrama de área estándar para la cuantificación del daño de la mancha foliar causado por *Alternaria padwickii* (Ganguly) M.B. Ellis en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

1.4.2. Objetivos específicos

1. Cuantificar la severidad de la mancha foliar causada por *A. padwickii* en 60 hojas de arroz muestreadas en un campo ubicado en la provincia del Guayas.
2. Elaborar un diagrama de área estándar que permita la cuantificación del daño causado por *A. padwickii* en el cultivo de arroz.
3. Validar el diagrama de área estándar desarrollado mediante el análisis de las estimaciones de severidad realizadas por evaluadores con y sin la ayuda del SAD.

1.5. Marco teórico

1.5.1. El arroz y la seguridad alimentaria

El arroz es el alimento básico de más de la mitad de la población humana, siendo consumido en el este y sur de Asia, Medio Oriente, América Latina y en la parte Occidental de la India. Ocupa el segundo lugar como la gramínea más consumida después del trigo, proporcionando más del 20 % de las calorías consumidas a nivel mundial. Anualmente se producen 645 millones de toneladas en al menos 114 países, en donde, el continente asiático produce cantidades cercanas a 580 millones de toneladas, es decir, aproximadamente un 90 % de la producción total (Sharif et al., 2014).

El arroz es una fuente económica de calorías, también contiene una amplia variedad de minerales que sostienen la vida y que son necesarios para mantener una salud óptima, tales como calcio, fósforo, hierro, potasio, sodio, y algunas vitaminas (Birla et al., 2017). Además, provee ciertos aminoácidos como lisina, treonina y triptófano, los cuales son considerados como esenciales, ya que su ingesta es necesaria para que el cuerpo humano pueda llevar a cabo sus funciones biológicas con normalidad.

1.5.2. Cultivo de arroz en el mundo

Existen alrededor de 110,000 variedades de arroz cultivadas en todo el mundo, de las cuales la mayoría corresponden a las especies *Oryza sativa* L. y *Oryza glaberrima* (Fukagawa & Ziska, 2019). Este último es conocido como arroz africano y es cultivado exclusivamente en África, siendo parte importante en varias comunidades en las cuales es la principal fuente de vitaminas, minerales y aminoácidos. *O. sativa* L. se divide en tres subespecies, *O. sativa* L. ssp. *indica*, la cual es de grano largo y la más consumida en América latina, aunque se cultiva ampliamente en Asia. *O. sativa* L. ssp. *japonica*, la cual se caracteriza por ser de grano corto, siendo la más consumida en China, Corea, la Unión Europea, Australia, Taiwán, Rusia, Japón, Turquía, y Estados Unidos (Chauhan et al., 2017). Y *O. sativa* ssp. *javanica* la cual no es tan consumida en comparación con las demás subespecies de *O. sativa*, aunque contribuye de manera significativa en la alimentación de la población en países asiáticos como Indonesia. Esta subespecie produce granos más largos y anchos en comparación con las subespecies indica y japonica (Long et al., 2022). La subespecie indica es una de las más consumidas en todo el mundo, especialmente en América Latina y algunos países del continente asiático, esta se caracteriza por tener contenidos altos de amilosa, el cual es un polisacárido que le confiere soltura al momento de cocinarse, a diferencia de variedades japonicas, cuyos granos tienden a aglutinarse después de la cocción.

La sostenibilidad de la producción de arroz en el mundo enfrenta desafíos debido al estrés hídrico y al ataque de plagas y enfermedades, los cuales son factores que se agravan producto del cambio climático (Farooq et al., 2023). Los fenómenos naturales alterados por el cambio climático traen consigo otros factores que amenazan la producción del cereal y por tanto la seguridad alimentaria en el mundo. No obstante, el cultivo de arroz también provoca un impacto en el ambiente que contribuye al cambio climático ya que, el cultivo convencional, el cual es el más

empleado en el mundo, emite gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera generando un mayor impacto en el ambiente en comparación con cultivos de arroz no convencionales (Loaiza et al., 2024). Una de las maneras de contrarrestar estos impactos sin amenazar la seguridad alimentaria es mediante la generación de nuevas variedades o híbridos capaces de tolerar o resistir condiciones bióticas y abióticas adversas tales como el ataque de patógenos y condiciones de salinidad o sequías respectivamente (Wang et al., 2023).

1.5.3. Características generales de la planta de arroz

El arroz es una planta autógena, herbácea y anual, es diploide y cuenta con un total de 24 cromosomas. Posee aerénquimas que facilitan el intercambio de gases, lo cual le permite desarrollarse en condiciones semiacuáticas. Tiene un ciclo que consta de tres etapas, la etapa vegetativa, la cual comprende desde la germinación hasta la iniciación de la panícula, la fase reproductiva, que abarca desde la iniciación de la panícula hasta la antesis, y la fase madurez, que va desde la antesis hasta la madurez del grano (Mohapatra & Sahu, 2022).

Al pertenecer a la familia de las gramíneas, la planta de arroz posee un sistema radical adventicio cuya profundidad y cantidad de raíces cambia según factores tales como el manejo agronómico, las condiciones edafoclimáticas y la especie o variedad. Las variedades que producen un alto número de macollos producen más raíces adventicias, así mismo las plantas que son cultivadas en suelos poco profundos o en condiciones de riego. Los tallos constan de nudos sólidos y entrenudos huecos, y en la base de la planta, se encuentran los meristemos que dan origen a nuevos tallos o macollos. La altura y el número de macollos que la planta es capaz de producir depende de la variedad, el distanciamiento de siembra, la fertilización, entre otros factores. Las hojas se forman a partir de los meristemos ubicados en la base de la planta, estos se componen de una vaina que rodea al macollo y de una lámina. La unión de la vaina y la hoja se denomina collar,

y justo en la base de este se encuentra la lígula y la aurícula. La última hoja que la planta produce en cada macollo, antes de la floración, se denomina hoja bandera y consta de una lámina de menor longitud pero más ancha que el resto de las hojas, además, esta tiende a ser erecta. La inflorescencia del arroz es una espiga o panícula cuyo tallo se denomina pedúnculo. La panícula consta de un eje principal que se divide en varios ejes secundarios y estos, a su vez, se dividen en ejes terciarios, los cuales dan lugar a las espiguillas. Las flores o espiguillas constan principalmente de dos glumas conocidas como lema y pálea, dentro de estas se encuentran los órganos masculino y femenino de la flor, los cuales están conformados por 6 estambres y un pistilo que contiene un solo óvulo. El grano de arroz es un fruto denominado cariósipide con forma oblonga, la cual es más notoria en la subespecie indica. La forma, el largo y el ancho del grano cambia según la variedad de arroz (Vijay & Roy, 2013).

1.5.4. Mancha foliar del arroz (*Alternaria padwickii* (Ganguly) M.B. Ellis)

La enfermedad de la mancha foliar del arroz, conocida también como alternariosis del arroz, es causada por el hongo *Alternaria padwickii* (Ganguly) M.B. Ellis. Se encuentra ampliamente distribuida en todo el mundo, en los países donde se cultiva arroz, especialmente en las zonas tropicales. El patógeno fue detectado por primera vez en Estados Unidos en hojas de trigo en donde fueron vistos los signos típicos tales como el micelio y esclerocios y, posteriormente, fue identificado en arroz (Mew & González, 2002). Según el mismo autor, los síntomas producidos en hojas de arroz son manchas circulares u ovales con un centro pálido de color marrón que, en estadios avanzados de la enfermedad, se vuelven de color gris claro y con puntos negros que son las estructuras de supervivencia del hongo conocidos como esclerocios. Los márgenes presentan formas circulares u ovales en estadios iniciales de la enfermedad, posteriormente pasan a ser de formas irregulares, bien definidos y de color café oscuro (Figura 1).

A. padwickii, también conocido como *Trichoconiella padwickii* (Ganguly) Jain según Quintana et al. (2017), es un hongo necrotrofo perteneciente al filo Ascomycota, el cual se diferencia de otros filos por ser el que cuenta con más especies y con mayor diversidad en el mundo. Los ascomicetos son hongos cuyas hifas poseen divisiones o septas, producen esporas sexuales llamadas ascosporas las cuales se forman dentro de estructuras denominadas ascas, así como también producen esporas sexuales conocidas como conidios, sin embargo algunas especies dentro de este filo no producen ascas ni ascosporas (McConnaughey., 2014).

Este organismo causa problemas en las semillas de arroz, siendo estas las principales promotoras de su diseminación. Forma parte del complejo de organismos que han sido identificados como causantes de la enfermedad del manchado del grano, la cual se encuentra ampliamente distribuida alrededor del mundo provocando una reducción en el potencial de rendimiento del cultivo. Una vez que el patógeno llega a las semillas, se producen conidios de manera más abundante que en otros órganos de la planta, haciendo que la dispersión por el viento sea fácil especialmente durante la cosecha (Atluri & Murthy, 2002). Si se prestan las condiciones que favorezcan a su patogenicidad, este organismo puede llegar a causar problemas en el tejido foliar de las plantas de arroz, tal como sucede con otros patógenos como *Bipolaris oryzae* que produce manchas de color marrón o *Nigrospora oryzae* el cual produce manchas circulares de color gris en el centro y con bordes gruesos de color café oscuro (Quintana et al., 2017).

Los propágulos del patógeno también pueden ser transportados a otros sitios en restos de plantas o suelo, facilitando la diseminación de la enfermedad (Ellis & Holliday, 1972). Además, el hongo es capaz de sobrevivir en una amplia variedad de plantas arvenses entre las cuales se encuentra la especie *Echinochloa colona*, la cual es común en los cultivos de arroz.

Figura 1

*Síntomas de la enfermedad de la mancha foliar causada por *Alternaria padwickii* en arroz*



Nota. (A) Hojas de arroz con síntomas iniciales, aparecen manchas circulares u ovales cuyo margen es de color marrón y con centro de color café claro. *(B)* Hojas de arroz con síntomas de la enfermedad en estadios más avanzados, las manchas abarcan una mayor área foliar tomando formas irregulares.

1.5.5. Cuantificación de las enfermedades en plantas

La cuantificación de enfermedades está comprendida en una rama de la fitopatología conocida como fitopatometría, cuyo enfoque está orientado a la evaluación y medición de las enfermedades. El cuantificar los daños que los patógenos causan a las plantas permite concluir respecto al estado fitosanitario de los cultivos y, de esa manera, tomar las acciones respectivas para el manejo de la enfermedad (Del Ponte et al., 2024). Las enfermedades en las plantas se pueden cuantificar mediante la prevalencia, incidencia y severidad (Del Ponte et al., 2017).

La severidad o nivel daño es definida como el área que está siendo afectada por una enfermedad en una determinada unidad de muestreo, como hojas o frutos, y puede ser expresada como un porcentaje o una proporción (Nutter et al., 1991). A pesar de que existen múltiples maneras de evaluar severidad, tienden a existir inconsistencias en las evaluaciones cuando se usan estos diagramas, ya que los datos obtenidos están sujetos a la subjetividad de cada evaluador, lo que hace que se tienda a sobreestimar la severidad de las enfermedades (Bock et al., 2020). Una forma de mejorar la exactitud de las estimaciones realizadas por los evaluadores es mediante el uso de una herramienta conocida como diagrama de área estándar (SAD) o también conocida como diagrama de severidad (Del Ponte et al., 2017).

1.5.6. Diagrama de área estándar (SAD)

Los diagramas de área estándar, o SAD por sus siglas en inglés, pueden ser definidos como representaciones gráficas de distintos niveles de severidad de plantas enfermas u órganos de plantas enfermos como hojas, tallos, frutos, etc. Pueden ser realizados a partir de imágenes reales que tengan los porcentajes de daño requeridos, así como también, a partir de dibujos, en donde, el color oscuro representa el tejido afectado por la enfermedad (Bock et al., 2021). Esta herramienta fue creada por Nathan Cobb en 1892 con el fin de mejorar las estimaciones de severidad de roya

en hojas de trigo, desde ese entonces varios SADs han sido desarrollados para mejorar las habilidades de los evaluadores en la estimación de severidad en distintos órganos de las plantas (Bock et al., 2010).

Los dibujos a color o fotografías son los más usados en los diagramas de severidad ya que se asemejan mucho más a la realidad en comparación con los diagramas en blanco y negro. Esto, sumado a un buen método de evaluación, permite a los evaluadores generar datos con una buena exactitud, precisión y confiabilidad (Del Ponte et al., 2017). Para el cultivo de arroz se han desarrollado diagramas de severidad que facilitan las evaluaciones de enfermedades como la mancha ocular (*Drechslera gigantea* Heald & Wolf) y la mancha marrón del arroz (*Bipolaris oryzae*) no obstante, no ha sido desarrollado un diagrama de área estándar que sirva de soporte para la evaluación de la severidad de la mancha foliar del arroz causada por *A. padwickii*.

El desarrollo, evaluación y uso de diagramas de severidad tiene varias aplicaciones como la evaluación de resistencia genética en programas de fitomejoramiento, evaluación de moléculas capaces de inhibir el desarrollo del patógeno causante de la enfermedad en ensayos bajo condiciones de campo o invernadero, así como también, permite la caracterización de patotipos según los síntomas y el nivel de daño cuantificado (Rivera et al., 2020).

En la actualidad existen varios programas que permiten el desarrollo de diagramas de severidad, uno de ellos es mediante el lenguaje de programación R (R Core Team, 2024), a través de la librería *pliman*, desarrollada por Olivoto (2022). Esta librería tiene algunas funcionalidades como analizar imágenes de plantas para estimar la severidad, obtener la forma de las lesiones causadas, contar lesiones y objetos tales como semillas, extraer características de objetos, entre otras.

1.5.7. Validación de diagramas de área estándar

En términos estadísticos y epidemiológicos la precisión, exactitud y concordancia, permiten determinar la calidad de las evaluaciones que se realizan sobre una enfermedad ocasionada por algún patógeno en las plantas. La precisión hace referencia a cuán cercanos son los datos de las evaluaciones obtenidos por distintos evaluadores y puede ser calculada mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), mientras que, la exactitud se refiere a qué tan próximos son los valores tomados respecto al valor real de severidad de una muestra de tejido u órgano enfermo y puede ser estimada mediante el factor de corrección Bias (Cb) (Del Ponte et al., 2024).

Por otra parte, la concordancia permite estimar qué tan cercanos están los valores de las de severidad reales en comparación con las estimaciones realizadas por los evaluadores. Una manera de determinar la concordancia es mediante el Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin (CCC). En términos generales, el CCC hace referencia a qué tan próximas se encuentran las evaluaciones obtenidas por dos métodos (Lin, 1989).

El análisis por medio del coeficiente de correlación de concordancia de Lin es el método más apropiado cuando se requiere comparar grupos de evaluadores o metodologías de cuantificación de severidad. Este método combina medidas de exactitud y precisión mediante la ecuación $CCC = Cb.r$; donde Cb es el factor de corrección Bias y mide qué tanto se desvían los valores de la línea de mejor ajuste (45°) y r es el coeficiente de correlación o precisión y mide la correlación entre el valor de la severidad estimado (Y) y el valor de la severidad medido (X), ya sea por los evaluadores o probando otro método de evaluación (Rios et al., 2013).

Capítulo 2

2. Metodología

2.1. Muestreo de hojas con el síntoma de la enfermedad

En lotes de producción de arroz ubicados en la provincia del Guayas fueron recolectadas 60 hojas de arroz que presentaron síntomas característicos de la mancha foliar, mediante un muestreo aleatorio. Las hojas fueron tomadas de distintas plantas que se encontraban en la fase reproductiva, es decir, alrededor de los 70 días de edad y presentaron diferentes tamaños los cuales oscilan entre los 22 hasta 53 cm. Finalmente, una vez recolectadas y terminadas las actividades en el campo, las hojas fueron colocadas en agua estéril, lo cual fue necesario para evitar su deshidratación y así poder conservarlas frescas para la captura de las imágenes.

2.2. Procesamiento de imágenes

Las hojas fueron lavadas con agua estéril y secadas suavemente con papel toalla con el fin de quitar las impurezas de la superficie. Posteriormente, fueron procesadas las 60 hojas que presentaron el síntoma de la mancha foliar, para lo cual se utilizó un fondo negro y la cámara de un dispositivo móvil Xiaomi cuya resolución fue de 108 MP y contó con un ángulo de visión $f/1.9$. Una vez tomadas las fotografías, estas fueron llevadas al formato png procurando evitar pérdidas en su calidad. Luego, las imágenes fueron almacenadas en una carpeta y a cada una se le asignó un número entero de manera aleatoria.

2.3. Cuantificación de la severidad

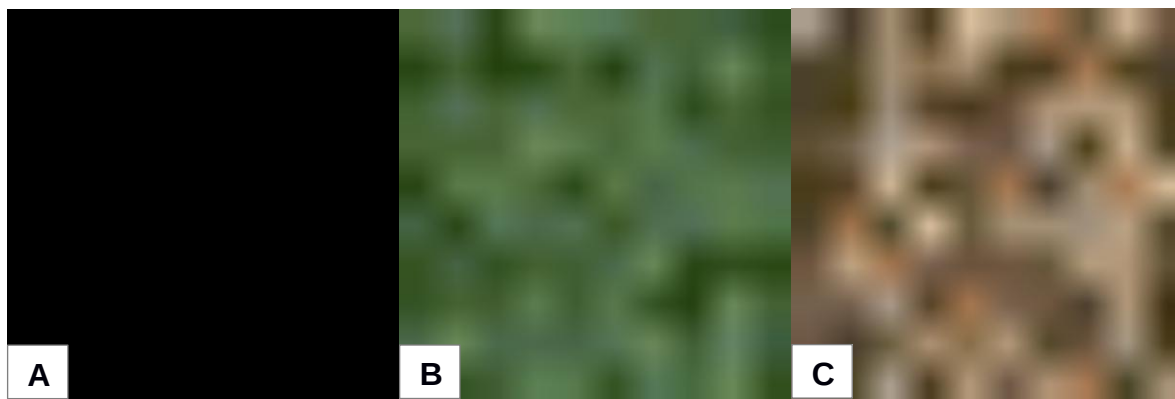
La cuantificación se realizó mediante el uso del lenguaje de programación R versión 4.4.2, a través de la librería *pliman* desarrollada por Olivoto (2022). Una vez transformadas todas las imágenes al formato png y habiéndoles asignado un número entero aleatorio, estas fueron cargadas

al programa. Posteriormente una de las imágenes fue seleccionada como modelo para asignar los píxeles según el estado de las hojas, es decir, fueron definidos los píxeles para el fondo de la imagen los cuales fueron de color negro, para la parte sana cuyos píxeles tuvieron algunos tonos de color verde, y para la parte enferma en la cual fueron predominantes los píxeles con tonos café y gris (Figura 2).

Finalmente, se cuantificó la severidad de la enfermedad de la mancha foliar en las 60 imágenes tomadas, estos datos fueron almacenados en un archivo de Excel y fueron cargados al R mediante la librería readxl para los análisis respectivos.

Figura 2

Tres representaciones según el fondo de las fotos y el estado de las hojas



Nota. **(A)** Píxeles que representan el fondo de las imágenes. **(B)** Píxeles que representan el tejido sano de las hojas. **(C)** Píxeles que representan el tejido enfermo de las hojas.

2.4. Definición de los límites mínimo y máximo de severidad

Una vez cuantificada la severidad para cada una de las imágenes, a partir de los datos obtenidos, fueron seleccionados los límites mínimo y máximo de severidad. Existen algunas maneras para determinar los límites, una de ellas es mediante la observación directa de los

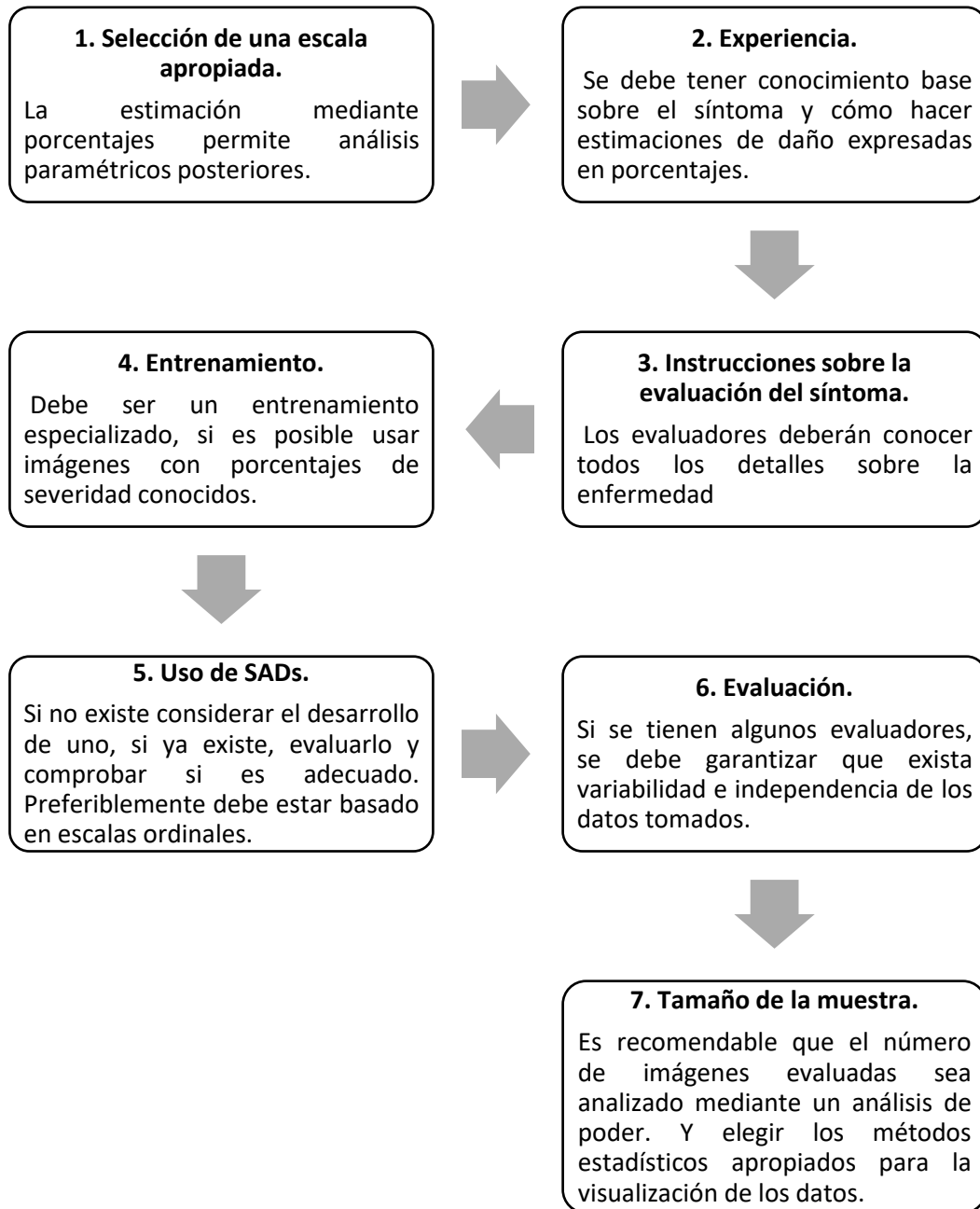
porcentajes de daño, no obstante, pueden existir errores. Otra forma es mediante el uso de softwares como Excel o el lenguaje de programación R. Considerando la importancia de una correcta determinación de los límites mínimo y máximo de severidad, estos fueron seleccionados de manera visual y comprobados mediante el uso del lenguaje de programación R.

2.5. Creación del diagrama de área estándar

Como paso previo para la creación del diagrama de área estándar fueron analizadas las frecuencias de los porcentajes de daño estimados, esto se consiguió mediante la creación y análisis de un histograma de frecuencias, el cual permitió definir el número de clases. Se requirió determinar el número de clases para tener una idea de cuántos niveles de severidad se deben manejar para esta enfermedad en hojas de arroz.

Los incrementos se hicieron de manera lineal definiendo previamente los valores mínimo y máximo de severidad, generando así un total de diez niveles de severidad de acuerdo con los trabajos realizados por Schwanck & Del Ponte (2014) y Rivera et al. (2020). Además, se siguió la metodología sugerida en (Bock et al., 2022) la cual es capaz de mejorar la exactitud de las estimaciones de severidad (Figura 3).

La representación gráfica de los niveles de severidad fue realizada tomando imágenes reales que tengan los niveles de daño preestablecidos, los cuales fueron verificados utilizando la librería *pliman* mediante el lenguaje de programación R versión 4.4.2.

Figura 3.*Esquema para la cuantificación de la severidad**Nota.* Adaptado desde (Bock et al., 2022)

2.6. Estimación de la severidad

Para la validación fueron preparados 35 evaluadores con y sin experiencia en la identificación y evaluación de enfermedades a los cuales se les instruyó sobre los síntomas de la enfermedad y cómo estimar el porcentaje de área foliar afectada. Mediante la proyección de las imágenes en Power Point cada uno de ellos cuantificó la severidad del manchado foliar en 30 imágenes de hojas de arroz que presentaron diferentes niveles de daño. En una primera fase los evaluadores cuantificaron el porcentaje del área foliar afectada sin la ayuda del SAD desarrollado. Y en la segunda fase, los mismos evaluadores tuvieron a su disposición el diagrama desarrollado, de tal manera que, mediante la comparación de las 30 imágenes con el SAD, cuantificaron la severidad en las mismas hojas y siguiendo el mismo orden que cuando cuantificaron la severidad sin la ayuda del diagrama.

2.7. Procesamiento y análisis de datos

Los datos fueron analizados mediante el lenguaje de programación R, mediante las librerías `pliman`, `r4pde`, `epiR`, `purrr`, `tidyverse`, `boot`, `ggplot2` y `ggridges`, las cuales tuvieron mayor relevancia en el desarrollo del SAD y en los análisis de los datos para la validación del diagrama. Se empleó estadística descriptiva y diagramas de caja y bigotes para la comparación de los errores entre las estimaciones de severidad sin ayuda y con ayuda del diagrama de área estándar propuesto. Estos errores en las mediciones fueron calculados restando la severidad real y la severidad estimada.

Fueron empleados diagramas de caja y bigotes para comparar los errores de las estimaciones de los 35 evaluadores con y sin la ayuda del SAD desarrollado, así como también, se empleó un diagrama de densidad de los errores con el fin de complementar el diagrama de cajas. Posteriormente, para apreciar las diferencias entre las evaluaciones con y sin la ayuda del SAD desarrollado fueron realizados los diagramas de cajas y bigotes de los parámetros estadísticos de

la exactitud (C_b), precisión (r) y concordancia (CCC). Finalmente, para comparar el efecto del uso del SAD desarrollado en los grupos de evaluadores con y sin experiencia, fueron realizados los diagramas de caja y bigotes de los errores de las estimaciones de severidad de estos grupos.

Se determinó la exactitud mediante el factor de correlación Bias (C_b), y sus componentes que son Location shift (u) y Scale shift (v). Luego, se determinó la precisión mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r). Y, finalmente, se calculó la concordancia de las estimaciones de cada evaluador, con y sin ayuda del diagrama de área estándar, con respecto a las estimaciones realizadas por la librería pliman. Para esto se utilizó el coeficiente de correlación de concordancia de Lin (CCC) el cual relaciona la exactitud y la precisión. Estos parámetros fueron estimados para conocer si existen diferencias entre los grupos de evaluadores y si el uso del SAD para cuantificar la severidad del manchado foliar mejora la calidad de las evaluaciones.

Para conocer si existen diferencias significativas entre los parámetros (u , v , C_b , r , CCC) se realizó una prueba de equivalencia estadística y se estructuró un cuadro comparativo en el cual fueron colocadas las medias de cada uno de los parámetros obtenidos de las evaluaciones con y sin la ayuda del SAD junto con sus desviaciones estándar, la diferencia de las medias entre las evaluaciones con y sin la ayuda del SAD junto con las desviaciones estándar estimadas mediante bootstrap con 1000 réplicas a un nivel de significancia de 5 %, y el intervalo de confianza de la diferencia entre las medias también estimado mediante bootstrap con 1000 réplicas y un nivel de significancia de 5 %. Para establecer si existen diferencias significativas analizando los intervalos de confianza, si en el intervalo está comprendido el cero, entonces no existen diferencias estadísticamente significativas entre las estimaciones de severidad con y sin ayuda del SAD desarrollado, es decir, para que existan diferencias significativas entre ambos métodos de

evaluación, ambos extremos del intervalo de confianza o deben ser positivos o negativos (Rios et al., 2013).

La misma prueba de equivalencia estadística fue realizada tanto para las estimaciones de severidad de los 11 evaluadores con experiencia como para las estimaciones de los 24 evaluadores sin experiencia con el objeto de determinar diferencias entre los métodos de evaluación dentro de estos dos grupos de evaluadores.

Finalmente, se realizó una prueba de *t* de Student pareada o dependiente, ajustada a los datos de los parámetros de cada evaluador (*u*, *v*, *Cb*, *r*, *CCC*) con un nivel de significancia del 5 %. En esta prueba fueron comparados los datos de los parámetros de cada evaluador, con experiencia y sin experiencia, cuando hicieron la cuantificación de severidad con y sin la ayuda del SAD desarrollado. Esto permitió comprar los análisis obtenidos a partir de la prueba de equivalencia estadística y los obtenidos a través de la prueba de *t* de Student, y así determinar diferencias significativas más robustas entre los métodos de evaluación dentro de cada grupo de evaluadores.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

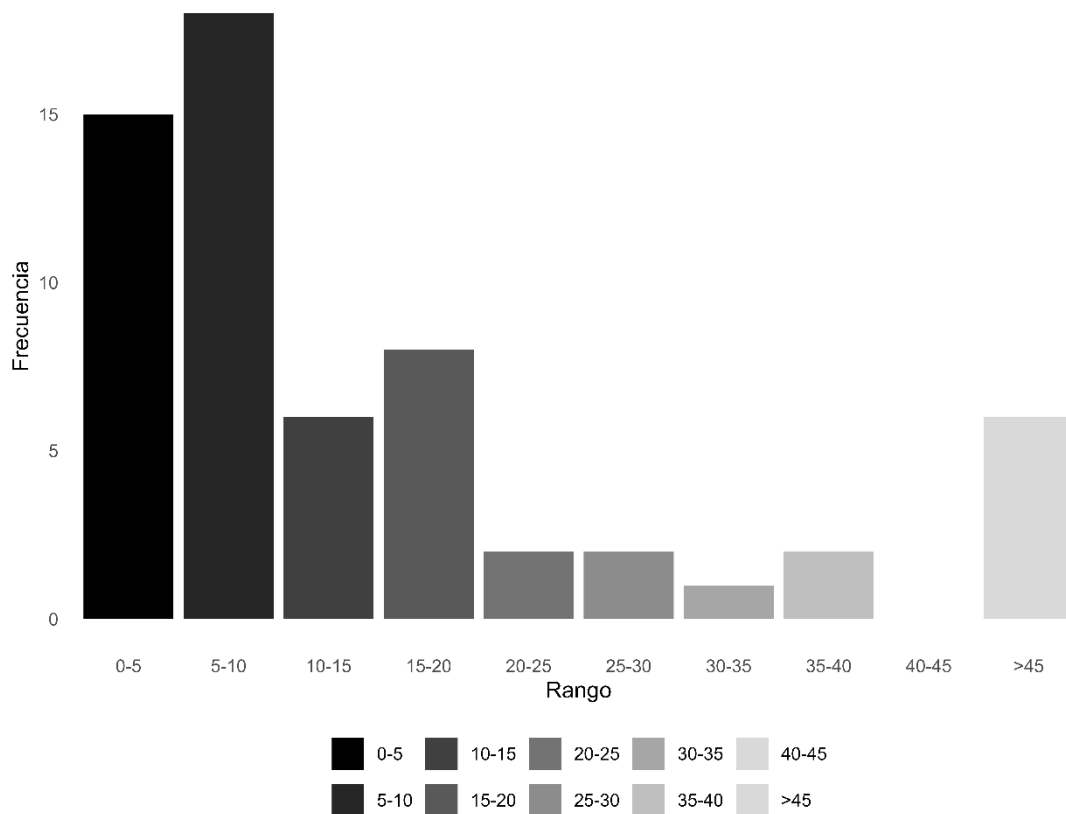
Las 60 hojas muestreadas aleatoriamente en el campo fueron obtenidas a partir de plantas que se encontraban en etapa reproductiva, alrededor de los 70 días de edad. Los tamaños de las hojas variaron entre 22 hasta 53 cm, es decir, no hubo un muestreo por similitud en tamaño ya que se la enfermedad se da en cualquier hoja; incluso puede llegar a afectar a la hoja bandera, siendo allí donde tiene una gran influencia en el manchado del grano debido a que esta hoja es la que se encuentra más cerca a la espiga.

Las hojas fueron fotografiadas y almacenadas en una carpeta digital, posteriormente les fue asignado a cada una un número aleatorio. La hoja número 5 fue seleccionada para realizar el registro de los píxeles del fondo de la parte sana y de la parte enferma. Posteriormente, mediante la librería pliman, se cuantificó el nivel daño de cada una de las hojas obteniéndose un rango de daño entre 0,42 % hasta 98 % correspondientes respectivamente a las hojas 41 y 47.

El análisis de las frecuencias de los porcentajes de daño de las 60 hojas (Figura 4) mostró que el mayor número de hojas tuvo severidades menores o iguales a 20 %, de esta manera, se pudo haber estructurado un SAD con hojas que tengan como máximo un 20 % de severidad. Sin embargo, aproximadamente el 22 % del total de las muestras (13 hojas) presentaron severidades mayores al 20 %, de las cuales el 10 % tuvieron severidades mayores o iguales a 45 %. Por esta razón, y porque el organismo causal de la enfermedad puede llegar a afectar gran parte de la hoja en condiciones que favorezcan su patogenicidad, se optó por incluir severidades que abarquen niveles de daño superiores al 20 %.

Figura 4

Histograma de frecuencias de los porcentajes de daño provocados por A. padwickii en hojas de arroz muestreadas en campos de la provincia del Guayas.



De tal manera que, fue utilizado como límite mínimo el porcentaje de severidad la hoja número 12 correspondiente a 1 % de daño, y como límite máximo la hoja 47 correspondiente a un porcentaje de severidad de 98 %.

Figura 5

Diagrama de área estándar para la cuantificación del daño ocasionado por Alternaria padwickii (Ganguly) M.B. Ellis en arroz



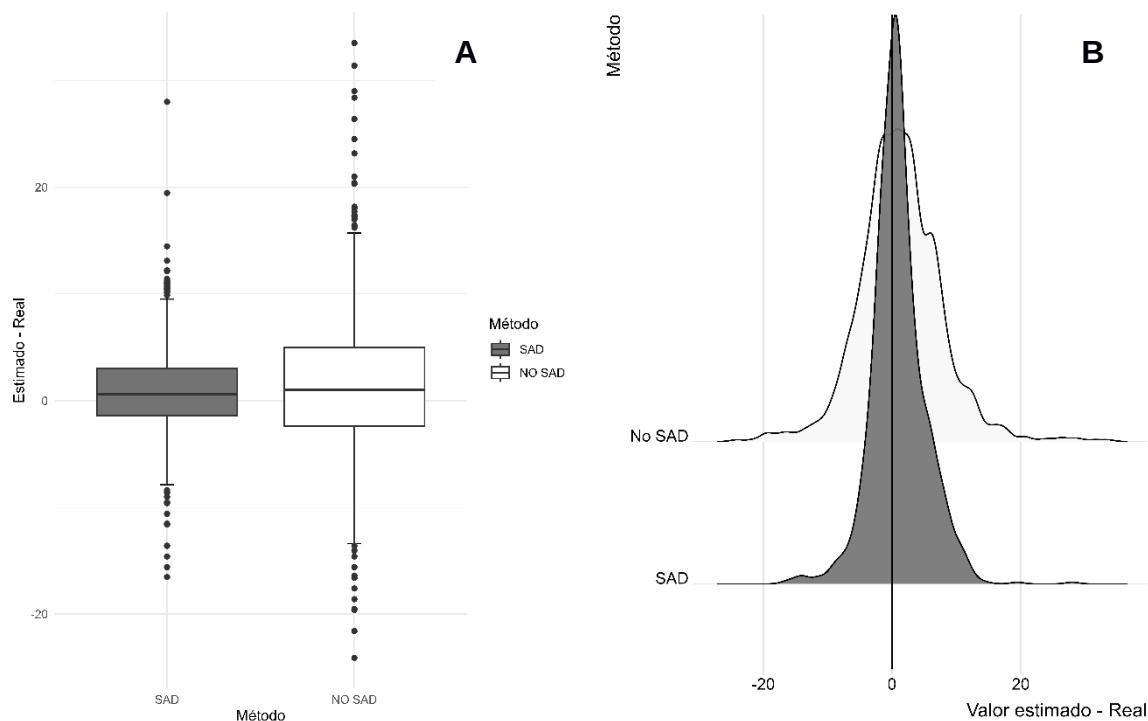
El diagrama de área estándar desarrollado con imágenes reales consta de 10 niveles de daño de la mancha foliar del arroz con un rango que va desde 1 hasta 98 % (Figura 5). En etapas tempranas de la enfermedad los síntomas en las hojas se manifiestan como manchas pequeñas de

color café claro y con bordes definidos de color café oscuro y, a medida que esta avanza, las manchas pasan a tomar formas con márgenes no definidos. El grado de severidad está relacionado con la ubicación de la mancha foliar, así, el daño tiende a ser mayor en hojas que han sido afectadas cerca de la base. El SAD desarrollado sigue la metodología propuesta por Del ponte et al. (2017) con la excepción de que no todos los saltos entre niveles de daño son menores o iguales a 15 %, esto es así debido a que en los muestreos no existieron hojas con niveles de daño iguales o cercanos a 50 y 90 %.

Las severidades de las 30 hojas seleccionadas fueron cuantificadas por 35 evaluadores indistintamente de su experiencia con y sin la ayuda del SAD desarrollado. A partir de esto se observó que la mediana de los errores tanto en las estimaciones realizadas sin ayuda del SAD como en las realizadas con ayuda del SAD (Figura 6A) fueron cercanas a cero mostrando una alta similitud entre ellas, lo cual indica que hubo una cantidad similar de evaluaciones sobreestimadas y subestimadas cuando los evaluadores cuantificaron la severidad con y sin la ayuda del SAD. Además, se observó que los errores en las mediciones fueron menores cuando los evaluadores cuantificaron la severidad con la ayuda del SAD desarrollado (Figura 6B) siendo, en su mayoría, cercanos a cero. También se observó presencia de valores atípicos en los errores tanto en las evaluaciones sin la ayuda del SAD como en las evaluaciones con ayuda del SAD, esto podría deberse a que la mayoría de los evaluadores no tenían experiencia en la identificación y evaluación de las enfermedades foliares en los cultivos. Aun así, estos valores se redujeron cuando se utilizó el SAD desarrollado para la cuantificación de la severidad de la mancha foliar en las hojas.

Figura 6

Gráficos de los errores en las cuantificaciones de severidad con y sin el uso del SAD desarrollado



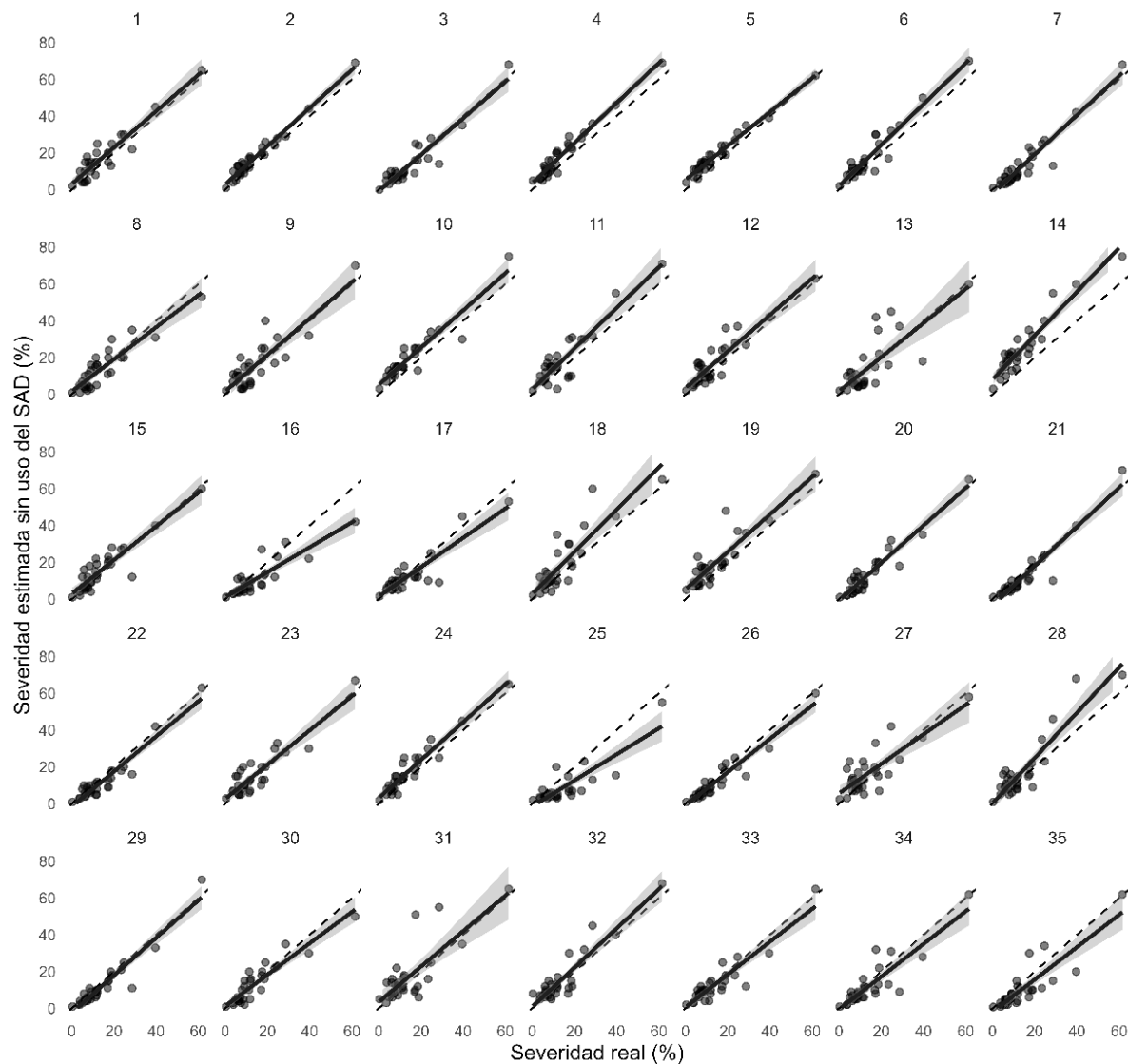
Nota. (A) Diagramas de caja y bigotes de los errores en las evaluaciones de severidad de la mancha foliar con y sin el uso del SAD desarrollado. **(B)** Diagramas de densidad de los errores en las evaluaciones de severidad con y sin el uso del SAD desarrollado.

De manera visual se pudo apreciar que en las evaluaciones sin uso del SAD (Figura 7) el 34,3 % de los evaluadores tendieron a calificar el nivel de daño con un valor por encima al valor real, el 31,4 % de los evaluadores tendieron a calificar el nivel de daño en las hojas con valores menores a los valores de severidad reales, y el 34,3 % restante de los evaluadores calificaron con valores aproximados al valor de severidad real. Cuando los evaluadores usaron el SAD desarrollado (Figura 8), se observó que el 3 % tendieron a colocar valores por encima del real teniendo una reducción considerable en comparación con las evaluaciones realizadas sin ayuda del

diagrama, de manera similar, hubo una reducción en el porcentaje de evaluadores que calificaron con valores por debajo del real, el cual pasó de 31,4 % a 22,8 %. Finalmente, un 68,6 % de los evaluadores calificaron con valores de severidad cercanos al valor de severidad real estimado por el programa, teniendo un aumento significativo en comparación con el porcentaje estimado sin ayuda del SAD.

Figura 7

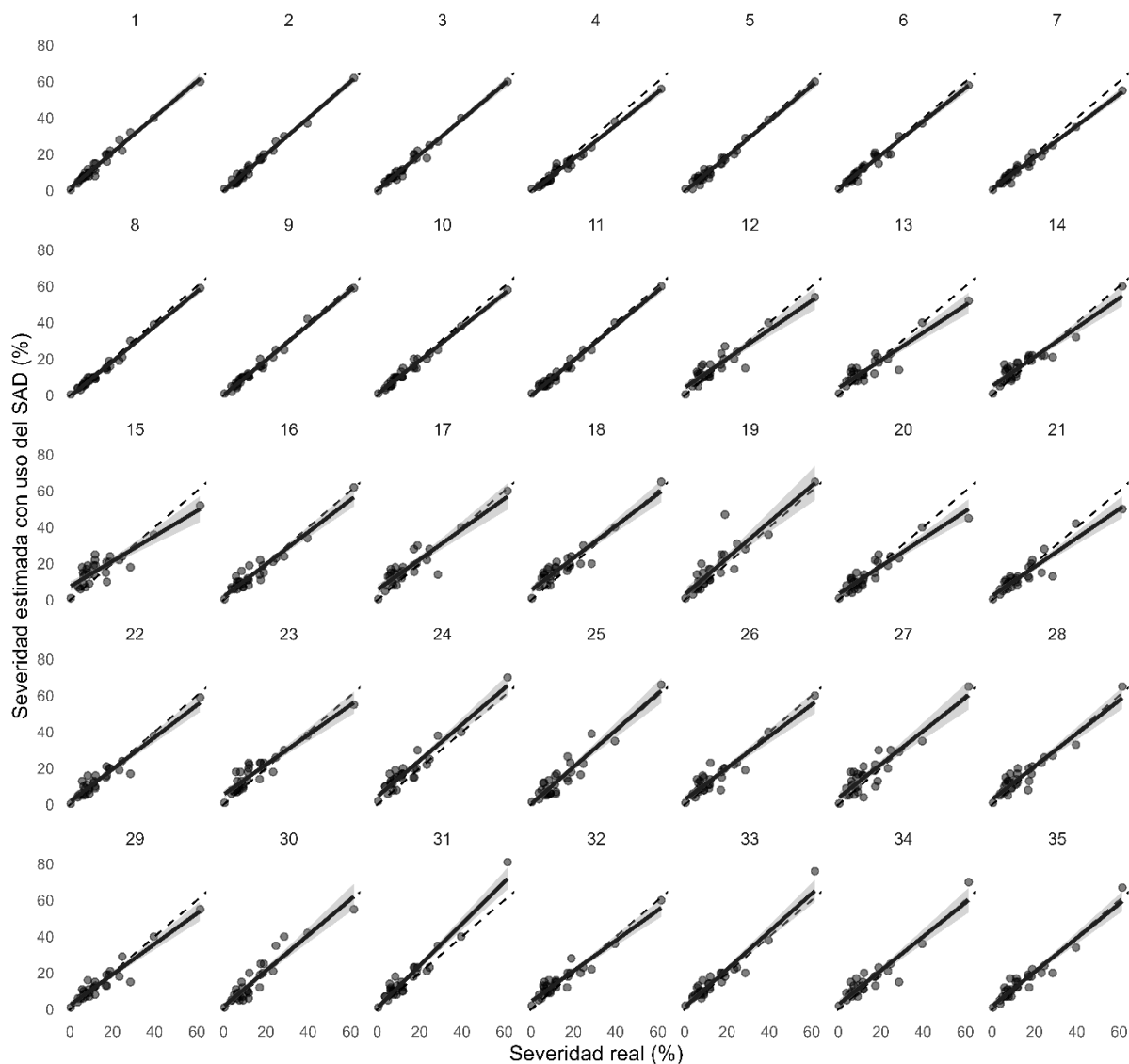
Estimaciones de la severidad de la mancha foliar sin la ayuda del SAD desarrollado, mostrando la relación entre la severidad real o estimada por el programa (línea entrecortada) y la severidad estimada por 35 evaluadores (línea continua). Los evaluadores del 1 al 11 tenían experiencia, a diferencia de los evaluadores del 12 al 35, quienes no la tenían.



Nota. Las medias de los parámetros de cada evaluador se encuentran en el Anexo 1.

Figura 8

Estimaciones de la severidad de la mancha foliar con la ayuda del SAD desarrollado, mostrando la relación entre la severidad real o estimada por el programa (línea entrecortada) y la severidad estimada por 35 evaluadores (línea continua). Los evaluadores del 1 al 11 tenían experiencia, a diferencia de los evaluadores del 12 al 35, quienes no la tenían.



Nota. Las medias de los parámetros de cada evaluador se encuentran en el Anexo 2

A partir de la prueba de equivalencia se observó que todos los parámetros estadísticos empleados (v , u , C_b , r , CCC) mejoraron cuando se utilizó el SAD desarrollado en las evaluaciones de severidad de la mancha foliar del arroz, demostrando que el uso del diagrama para la evaluación de esta enfermedad mejora tanto la precisión como la exactitud de las evaluaciones, aun cuando son realizadas por evaluadores con poca o nula experiencia. Esto se comprobó mediante el análisis del intervalo de confianza de la diferencia de las medias IC ($p = 0,05$) el cual fue negativo para los parámetros v y u , y positivo para los parámetros C_b , r y CCC (Tabla 1). Puesto que, en el intervalo de confianza del parámetro estadístico Location Shift (v) está comprendido el cero, se establece que no existen diferencias significativas entre el desplazamiento de las mediciones realizadas con ayuda del SAD y las realizadas sin ayuda del SAD, es decir, ambos tienen medianas muy similares. En el caso de los demás parámetros (u , C_b y CCC) los intervalos de confianza no comprenden el cero, de tal manera que existen diferencias significativas entre las evaluaciones realizadas con y sin ayuda del SAD desarrollado.

Tabla 1

*Efecto del uso de un diagrama de área estándar (SAD) en la precisión, exactitud y concordancia de las evaluaciones de la mancha foliar (*A. padwickii*) realizadas por 35 evaluadores en 30 hojas de arroz*

Variables	Medias ^a		Diferencia ^b entre medias	IC ^c 95 % de la diferencia
	No SAD	SAD		
Location shift (v) ^d	0,091 (0,270)	0,083 (0,133)	-0,008 (0,045)	-0,097–0,081
Scale shift (u) ^e	1,068 (0,126)	0,953 (0,089)	-0,115 (0,026)	-0,163– -0,061
Coeficiente Bias (Cb) ^f	0,957 (0,049)	0,983 (0,018)	0,026 (0,009)	0,014–0,053
Coeficiente de correlación (r) ^g	0,836 (0,092)	0,922 (0,055)	0,085 (0,017)	0,054–0,119
CCC ^h	0,872 (0,065)	0,937 (0,042)	0,065 (0,011)	0,044–0,090

Nota.

^a Entre paréntesis los valores de la desviación estándar

^b Media de la diferencia entre cada evaluación. Entre paréntesis error estándar calculado empleando bootstrap.

^c Intervalo de confianza obtenido mediante 1000 muestras bootstrap. La diferencia es no significativa ($p=0,05$) si el IC es cero.

^d Location shift. Si $v = 0$, no existe sesgo con referencia a la línea de concordancia.

^e Scale shift. Si $u = 1$, no existe sesgo con referencia a la línea de concordancia.

^f Factor de corrección Bias. Mide qué tan lejos se desvía de 45° la línea de mejor ajuste. Permite estimar la exactitud.

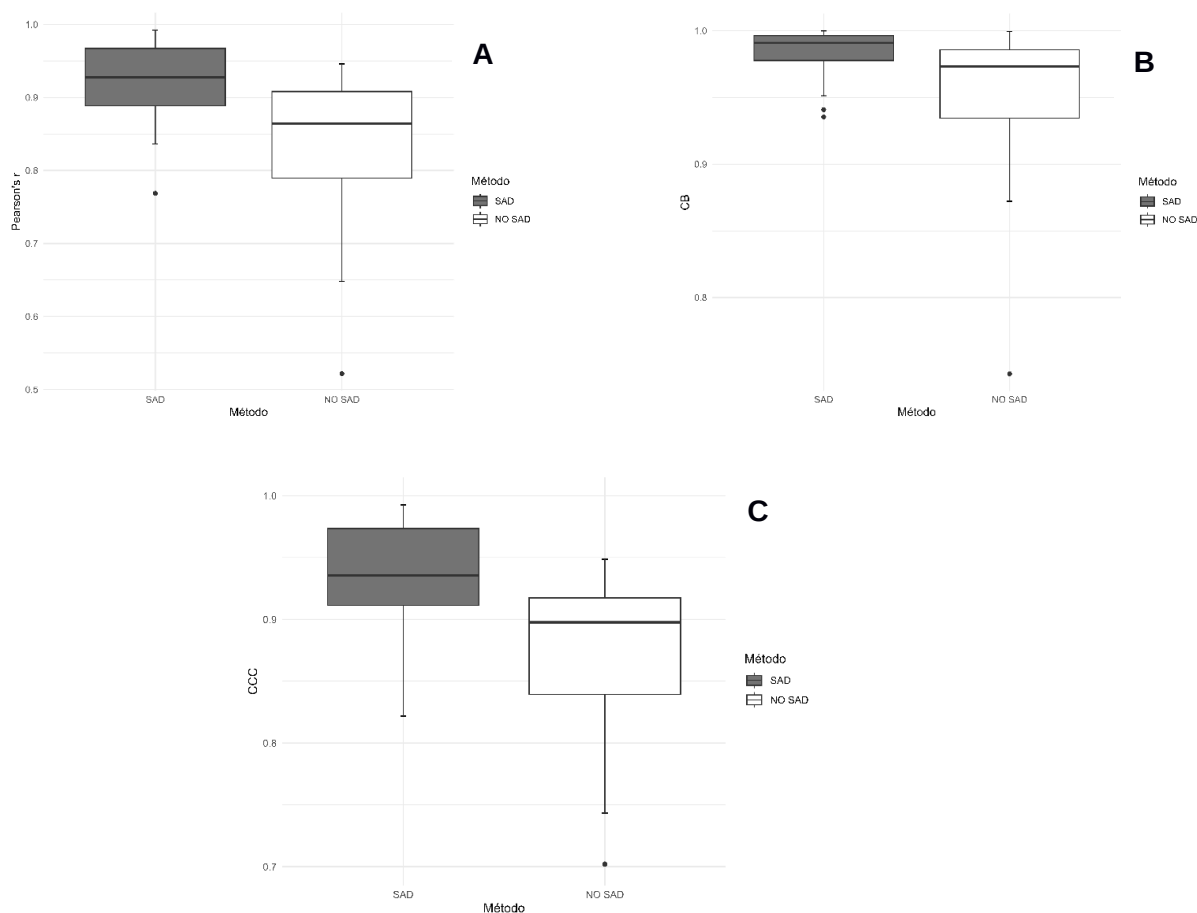
^g Mide la precisión de las estimaciones respecto al valor real.

^h Coeficiente de correlación de concordancia de Lin (CCC). Combina la precisión (r) con la exactitud (Cb) para estimar la concordancia respecto al valor real.

La precisión de las evaluaciones, dada por el coeficiente de correlación de Pearson (r), mejoró cuando se usó el SAD desarrollado en comparación con las evaluaciones que fueron realizadas sin la ayuda del SAD, pasando de una media de 0,836 a 0,922. Además, con el uso del diagrama hubo una mayor cantidad de evaluaciones con una precisión cercana a la mediana (Figura 9A) a diferencia de las evaluaciones realizadas sin ayuda del SAD las cuales tuvieron una mayor variabilidad, especialmente por debajo de la mediana. Se observó una mejora en la exactitud de las evaluaciones (C_b) cuando se usó el SAD desarrollado, pasando de 0,957 sin uso del diagrama a 0,983 con uso del diagrama. No obstante, cuando se usó el SAD la cantidad de evaluadores que tuvieron una exactitud cercana a la media, y la mediana aumentó notablemente en comparación cuando no se usó el SAD desarrollado (Figura 9B) de hecho, cuando no se usó el SAD, una parte de los evaluadores tuvieron una exactitud con alta variabilidad, especialmente debajo de la mediana. La concordancia de las estimaciones (CCC) fue mayor cuando se usó el SAD desarrollado, con una media de 0,937 en comparación cuando no se lo usó, en cuyo caso la media fue de 0,872 (Figura 8C). Además, cuando no se usó el SAD hubo una mayor cantidad de evaluadores que tuvieron concordancias alejadas de la media y la mediana en comparación cuando se usó el SAD.

Figura 9.

Diagramas de caja y bigotes de los parámetros estadísticos de precisión (r), exactitud (C_b) y concordancia (CCC)



Nota. (A) Coeficiente de correlación de Pearson (r). **(B)** Factor de corrección Bias (C_b). **(C)** Coeficiente de correlación de concordancia de Lin (CCC).

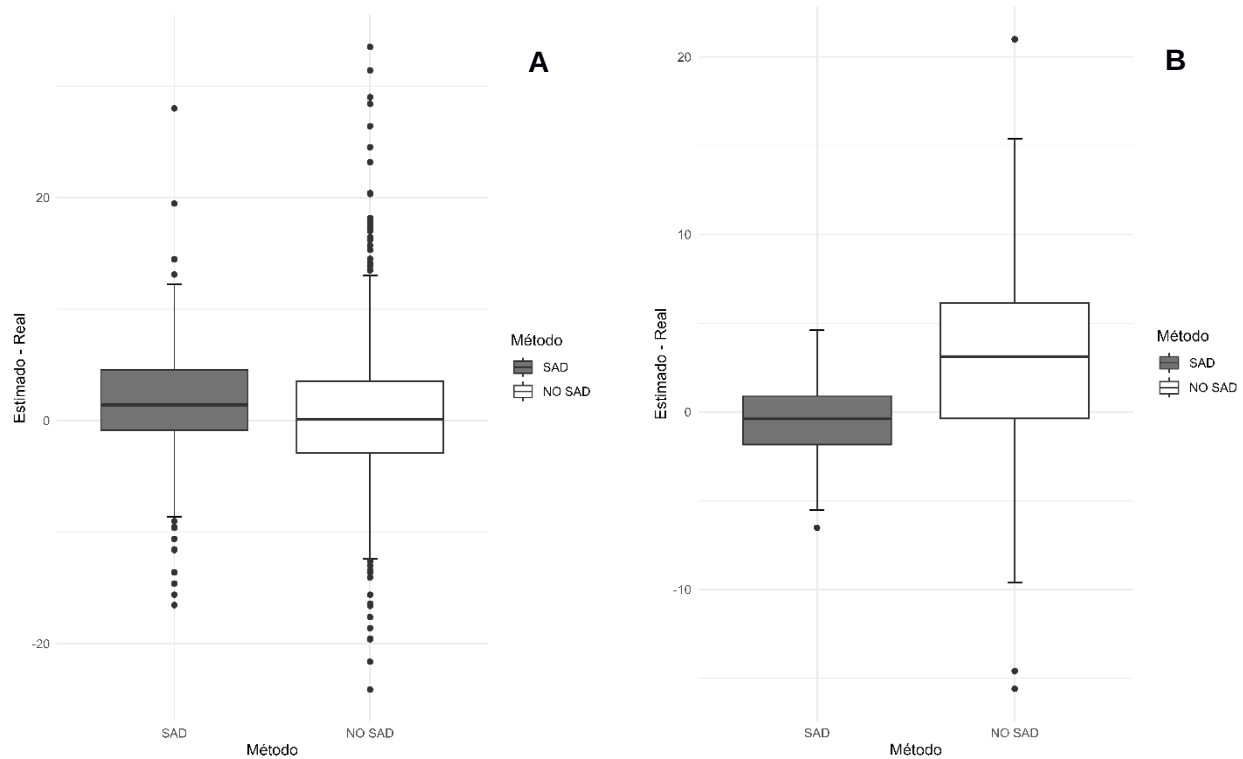
Cuando los evaluadores se dividieron en dos grupos, los que tenían experiencia en la evaluación de enfermedades en plantas y los que no la tenían, fueron obtenidos resultados más concluyentes con relación a cuál de los dos grupos le beneficia más el uso del SAD desarrollado para la evaluación de la mancha foliar. Los evaluadores sin experiencia tuvieron más errores en las cuantificaciones cuando no usaron el SAD desarrollado, calificando el nivel de daño en más de

un 30 % respecto del valor real y alrededor de un 20 % menos que el valor real (Figura 10). Cuando estos evaluadores cuantificaron la severidad con la ayuda del SAD desarrollado hubo una menor variación en los datos y una reducción de los valores atípicos.

Por otra parte, como era previsto, los evaluadores que tenían experiencia previa en la evaluación de enfermedades en plantas tuvieron una menor cantidad de errores en las mediciones cuando no usaron el SAD lo cual se asemeja a los resultados obtenidos por Bock et al. (2022) quienes mencionan que los evaluadores con experiencia tienden a hacer mejores estimaciones de severidad en comparación con los evaluadores que no tienen experiencia, aunque estos últimos también suelen hacer evaluaciones con alta precisión y exactitud. Cuando los evaluadores experimentados usaron al SAD desarrollado como asistencia para la evaluación hubo una reducción considerable en el número de errores y estos no fueron tan significativos, alcanzando un máximo de 8 % de sobrestimación y subestimación respecto del valor real. Además, se observó que los evaluadores con experiencia tendieron a sobreestimar la severidad cuando no usaron el SAD, sin embargo, cuando lo usaron se corrigió esta tendencia. Esto también ocurrió en una investigación realizada por Schwanck & Del Ponte (2014) donde desarrollaron un SAD para la evaluación de la mancha parda (*Bipolaris oryzae*) en el tejido foliar de arroz, en la cual demostraron que los evaluadores tendieron a sobreestimar la severidad cuando no hicieron uso del SAD, y cuando lo usaron los errores en las estimaciones estuvieron más cercanos a cero corrigiendo esta tendencia.

Figura 10

Gráficos de caja y bigotes de los errores en las estimaciones de severidad realizadas por evaluadores sin y con experiencia



Nota. (A) Errores en las estimaciones de severidad generados por los evaluadores sin experiencia. (B) Errores en las estimaciones de severidad generados por los evaluadores con experiencia.

El mismo tipo de análisis con intervalos de confianza ($p = 0,05$) que fue realizado para los 35 evaluadores sin distinción de su experiencia (Tabla 1) fue realizado tanto para el grupo de evaluadores sin experiencia como para los evaluadores con experiencia. A raíz de esto se observó que en el análisis realizado a las cuantificaciones hechas por los evaluadores sin experiencia (Tabla 2) hubo una diferencia con el parámetro Location Shift (v) siendo este significativo ya que el intervalo de confianza de la diferencia de las medias no incluyó al cero.

Tabla 2

*Efecto del uso de un diagrama de área estándar (SAD) en la precisión, exactitud y concordancia de las evaluaciones de la mancha foliar (*A. padwickii*) realizadas por 24 evaluadores sin experiencia.*

Variables	Medias ^a		Diferencia ^b entre medias	IC ^c 95 % de la diferencia
	No SAD	SAD		
Location shift (v) ^d	0,040 (0,290)	0,142 (0,114)	0,101 (0,046)	0,003– 0,181
Scale shift (u) ^e	1,061 (0,143)	0,950 (0,105)	-0,111 (0,038)	-0,185– -0,035
Coeficiente Bias (Cb) ^f	0,955 (0,056)	0,977 (0,005)	0,022 (0,012)	0,005–0,057
Coeficiente de correlación (r) ^g	0,823 (0,105)	0,895 (0,045)	0,072 (0,015)	0,029–0,116
CCC ^h	0,858 (0,033)	0,915 (0,031)	0,072 (0,022)	0,031–0,119

Nota.

^a Entre paréntesis los valores de la desviación estándar

^b Media de la diferencia entre cada evaluación. Entre paréntesis error estándar calculado empleando bootstrap.

^c Intervalo de confianza obtenido mediante 1000 muestras bootstrap. La diferencia es no significativa ($p=0,05$) si el IC es cero.

^d Location shift. Si $v = 0$, no existe sesgo con referencia a la línea de concordancia.

^e Scale shift. Si $u = 1$, no existe sesgo con referencia a la línea de concordancia.

^f Factor de corrección Bias. Mide qué tan lejos se desvía de 45° la línea de mejor ajuste. Permite estimar la exactitud.

^g Mide la precisión de las estimaciones respecto al valor real.

^h Coeficiente de correlación de concordancia de Lin (CCC). Combina la precisión (r) con la exactitud (Cb) para estimar la concordancia respecto al valor real.

Cuando estos resultados fueron comparados mediante una prueba de *t* de Student dependiente (Tabla 3) se observó que existieron diferencias significativas en el parámetro Location Shift (v) lo cual comprueba lo obtenido mediante el análisis de intervalos de confianza (bootstrap con 1000 réplicas) pero difiere con los resultados obtenidos en la prueba de equivalencia de los 35 evaluadores en cuyo caso este parámetro fue no significativo. El parámetro C_b presentó diferencias significativas en la prueba de equivalencia, sin embargo, cuando se realizó la prueba de *t* de Student dependiente no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) lo cual indica que el SAD desarrollado no mejora la exactitud de las estimaciones de los evaluadores que no tienen experiencia. La precisión (r) mejoró cuando los evaluadores sin experiencia estimaron la severidad con ayuda del SAD desarrollado, pasando de 0,823 sin ayuda del SAD a 0,895. Finalmente, fueron observadas diferencias significativas en la concordancia (CCC) de las evaluaciones sin y con ayuda del SAD pasando de 0,858 a 0,915.

Tabla 3

Comparación de medias de los parámetros (v , u , C_b , r y CCC) de evaluaciones con y sin la ayuda del SAD desarrollado realizada por 24 evaluadores sin experiencia.

Parámetros	Grados de libertad (g.l)	Estadístico t	p valor ^b
Location shift (v)	23	2,098	0,04706
Scale shift (u)	23	-2,921	0,00769
Coeficiente Bias (C_b)	23	1,897	0,07045
Coeficiente de correlación (r)	23	3,161	0,00437
CCC ^a	23	3,577	0,00160

Nota.

^a Coeficiente de correlación de concordancia de Lin (CCC). Combina la precisión (r) con la exactitud (C_b) para estimar la concordancia respecto al valor real.

^b Cuando p es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula de la no existencia de diferencias significativas

En el caso de los evaluadores con experiencia todos los parámetros (v , u , C_b , r , CCC) fueron significativos cuando las evaluaciones fueron analizadas por medio de intervalos de confianza bootstrap con 1000 réplicas (Tabla 4). Los intervalos de confianza de los parámetros no comprenden el cero, por lo tanto, existen diferencias significativas entre las estimaciones realizadas con y sin la ayuda del SAD por evaluadores con experiencia.

Tabla 4

*Efecto del uso de un diagrama de área estándar (SAD) en la precisión, exactitud y concordancia de las evaluaciones de la mancha foliar (*A. padwickii*) realizadas por 11 evaluadores con experiencia.*

Variables	Medias ^a		Diferencia ^b entre medias	IC ^c 95 % de la diferencia
	No SAD	SAD		
Location shift (v) ^d	0,200 (0,189)	-0.045 (0,067)	-0,245 (0,058)	-0,353– -0,133
Scale shift (u) ^e	1,084 (0,081)	0,960 (0,037)	-0,124 (0,029)	-0,180– -0,066
Coeficiente Bias (Cb) ^f	0,961 (0,029)	0,995 (0,005)	0,035 (0,008)	0,020–0,052
Coeficiente de correlación (r) ^g	0,867 (0,048)	0,980 (0,011)	0,114 (0,015)	0,085–0,144
CCC ^h	0,902 (0,033)	0,985 (0,006)	0,083 (0,010)	0,066–0,104

Nota.

^a Entre paréntesis los valores de la desviación estándar

^b Media de la diferencia entre cada evaluación. Entre paréntesis error estándar calculado empleando bootstrap.

^c Intervalo de confianza obtenido mediante 1000 muestras bootstrap. La diferencia es no significativa ($p=0,05$) si el IC es cero.

^d Location shift. Si $v = 0$, no existe sesgo con referencia a la línea de concordancia.

^e Scale shift. Si $u = 1$, no existe sesgo con referencia a la línea de concordancia.

^f Factor de corrección Bias. Mide qué tan lejos se desvía de 45° la línea de mejor ajuste. Permite estimar la exactitud.

^g Mide la precisión de las estimaciones respecto al valor real.

^h Coeficiente de correlación de concordancia de Lin (CCC). Combina la precisión (r) con la exactitud (Cb) para estimar la concordancia respecto al valor real.

Cuando se hizo la comparación de estos resultados con los obtenidos mediante la prueba de t de Student dependiente (Tabla 5) se confirmó que las medias de todos los parámetros presentaron diferencias significativas. La exactitud (Cb) de los evaluadores con experiencia cuando no usaron el SAD fue de 0,961 y cuando lo usaron aumentó hasta 0,995. La precisión (r) mejoró cuando los evaluadores estimaron la severidad, pasando de 0,867 sin ayuda del SAD a 0,980 con ayuda del SAD. Finalmente, la concordancia (CCC) de las evaluaciones sin y con ayuda del SAD también presentaron diferencias significativas, pasando de 0,902 a 0,985.

Tabla 5

Comparación de medias de los parámetros (v, u, Cb, r y CCC) de evaluaciones con y sin la ayuda del SAD desarrollado realizada por 11 evaluadores con experiencia.

Parámetros	Grados de libertad (g.l)	Estadístico t de Student	p valor ^b
Location shift	10	-3,997	0,00253
Scale shift	10	-4,125	0,00206
Coeficiente Bias	10	4,013	0,00247
Coeficiente de correlación	10	7,656	0,00002
CCC ^a	10	7,994	0,00001

Nota.

^a Coeficiente de correlación de concordancia de Lin (CCC). Combina la precisión (r) con la exactitud (Cb) para estimar la concordancia respecto al valor real.

^b Cuando p es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula de la no existencia de diferencias significativas

De tal manera que, cuando los evaluadores tienen experiencia previa en la cuantificación de enfermedades en plantas el SAD desarrollado mejora significativamente los parámetros de precisión, exactitud y concordancia a diferencia de evaluadores con poca o nula experiencia en la cuantificación de severidad los cuales no mejoran su exactitud cuando se usa el SAD desarrollado, y su precisión y concordancia mejoran, pero en menor medida que los evaluadores con experiencia. Los resultados obtenidos por los evaluadores que tenían experiencia previa en la estimación de severidad fueron similares a los obtenidos en una investigación desarrollada por Rivera et al. (2020) en la cual desarrollaron un SAD para la evaluación de la mancha ocular causada por *Drechslera gigantea* en arroz, el SAD desarrollado en esta investigación consiguió mejorar todos los parámetros (v , u , C_b , r , CCC) cuando se lo usó como ayuda para la evaluación de dicha enfermedad en comparación con las evaluaciones realizadas sin la ayuda del diagrama. Resultados similares fueron obtenidos por Rios et al. (2013) cuando se realizó la validación de un SAD desarrollado para la evaluación de la quemazón de la hoja (*Pyricularia oryzae*) causada en trigo, en este estudio también se consiguió mejorar todos los parámetros cuando los evaluadores usaron al SAD como ayuda.

Con relación a la diferencia entre las estimaciones de severidad de evaluadores con y sin experiencia, en una investigación realizada por Álvarez et al. (2021) en la cual se desarrolló un SAD con incrementos lineales para la evaluación del mildiú (*Peronospora variabilis*) en quinua, se obtuvo como resultado que los evaluadores técnicos o con experiencia en la cuantificación de severidad no mejoraron significativamente su exactitud ni precisión en las evaluaciones de severidad cuando usaron el SAD desarrollado, a diferencia del segundo grupo de evaluadores conformado por productores (sin experiencia en las evaluaciones de severidad) cuyas evaluaciones de severidad con ayuda del SAD fueron significativamente mejores que sin la ayuda del diagrama.

Estos resultados difieren a los obtenidos en este estudio, ya que fueron los evaluadores técnicos o con experiencia quienes mejoraron significativamente su precisión, exactitud y concordancia cuando estimaron la severidad con ayuda del SAD desarrollado. Estas diferencias pueden deberse a fuentes de error que inciden en la exactitud y precisión de las evaluaciones de severidad tales como la experiencia del evaluador, las habilidades intrínsecas del evaluador, el tiempo que tuvo el evaluador, instrucción del evaluado, tamaño de la muestra (SAD), el tipo de escala usada (Lineal o logarítmica), y especialmente, el órgano vegetal a evaluar, la forma de la hoja, el tamaño y patrón de las lesiones (Bock et al., 2022).

Capítulo 4

4.1. Conclusiones y recomendaciones

4.1.1. Conclusiones

Una vez cumplidas las fases requeridas para el desarrollo de la propuesta se obtienen las siguientes conclusiones primordiales:

- El SAD desarrollado permite a los evaluadores mejorar las cuantificaciones de severidad de la mancha foliar ya sea que estos cuenten o no con experiencia previa, siendo más práctico para evaluadores que tienen experiencia ya sea en identificación de la enfermedad, o bien, en estimaciones de severidad en plantas.
- Producto de la cuantificación de la severidad de la mancha foliar del arroz realizada en hojas que fueron recolectadas en distintos sectores de la provincia del Guayas, fueron obtenidos porcentajes de severidad que varían desde 0,42 % hasta 98 % lo cual permitió el desarrollo de un SAD con imágenes reales. El SAD desarrollado muestra cómo avanza el porcentaje de severidad desde 1 hasta 98 %, facilitando su comparación con hojas que presenten el síntoma. Así, el uso del SAD permitiría a los evaluadores tener una mayor precisión y exactitud al momento de cuantificar la severidad provocada por *A. padwickii* en tejido foliar de arroz.
- Producto de la validación del SAD desarrollado se demostró que mediante su uso para la evaluación de la mancha foliar se mejoró la precisión, exactitud y concordancia disminuyendo a su vez los errores en las cuantificaciones de la enfermedad. Es decir que, el uso del SAD desarrollado mejoró la calidad de las evaluaciones realizadas por evaluadores indistintamente de su experiencia. Aunque, se demostró que el uso del SAD desarrollado como ayuda para la evaluación de la mancha foliar, disminuyó los errores en

las cuantificaciones y mejoró aún más la precisión, exactitud y concordancia de los evaluadores que tenían experiencia en comparación con los evaluadores que no la tenían.

4.1.2. Recomendaciones

Habiendo culminado lo planificado en la propuesta se obtienen las siguientes recomendaciones primordiales:

- Para las evaluaciones de esta enfermedad en el campo se recomienda seguir los pasos sugeridos en el protocolo de evaluación de la mancha foliar propuesto (Anexo 3) ya que facilitaría las cuantificaciones de los niveles de daño y la toma de datos ya sea para fines de investigación como para el manejo del cultivo.
- Previo al desarrollo de un diagrama de área estándar para la evaluación de la mancha foliar en arroz se debería contar con una mayor cantidad de hojas muestreadas y con saltos de porcentajes de daño que no excedan el 15 %, de tal manera que se puedan tener a disposición fotos con niveles de daño más variables para estructurar un SAD. Esto contribuiría a disminuir los errores en las evaluaciones especialmente a los evaluadores con poca o nula experiencia.
- Para realizar evaluaciones de severidad de la enfermedad de la mancha foliar del arroz en el campo y con la ayuda del SAD desarrollado, es recomendable que los evaluadores sean capaces de identificar la enfermedad y en qué órganos de la planta se puede presentar. Además, es recomendable que los evaluadores tengan experiencia previa en la cuantificación de severidad en tejido foliar, preferiblemente en hojas de gramíneas.

Referencias

- Álvarez, P., Mariño, V., Carpio, C. & Ferreira, A. (2021). Elaboração e validação de diagramas de área padrão (DAP) para avaliação da severidade do míldio (*Peronospora variabilis* Gäum) em quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista Agraria Academica*, 4(4), 43–54. <https://doi.org/10.32406/v4n4/2021/43-54/agrariacad>
- Atluri, J. B., & Murthy, D. V. V. S. (2002). Effect of harvesting operations on fungal spore populations of air. *Journal of Environmental Biology*, 23(1), 65–69. <https://europepmc.org/article/med/12617320>.
- Birla, D.S., Malik, K., Sainger, M., Chaudhary, D., Jaiwal, R., Jaiwal, P.K. (2017). Progress and challenges in improving the nutritional quality of rice (*Oryza sativa* L.). *Crit Rev Food Sci Nutr*, 57 (11). pp. 2455-2481.
- Bock, C. H., Barbedo, J. G. A., del Ponte, E. M., Bohnenkamp, D., & Mahlein, A.-K. (2020). From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity: status and challenges for improving accuracy. *Phytopathology Research* 2020 2:1, 2(1), 1–30. <https://doi.org/10.1186/S42483-020 00049-8>.
- Bock, C. H., Chiang, K. S., & Del Ponte, E. M. (2022). Plant disease severity estimated visually: a century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Tropical Plant Pathology*, 47(1), 25–42. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00439-z>
- Bock, C. H., Poole, G. H., Parker, P. E., & Gottwald, T. R. (2010). Plant Disease Severity Estimated Visually, by Digital Photography and Image Analysis, and by Hyperspectral Imaging. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29(2), 59–107. <https://doi.org/10.1080/07352681003617285>.

- Bock, C. H., Pethybridge, S. J., Barbedo, J. G. A., Esker, P. D., Mahlein, A. K., & del Ponte, E. M. (2022). A phytopathometry glossary for the twenty-first century: towards consistency and precision in intra- and inter disciplinary dialogues. *Tropical Plant Pathology*, 47(1), 14–24. <https://doi.org/10.1007/S40858-021-00454-0>.
- Chauhan, B. S., Jabran, K., & Mahajan, G. (2017). Rice Production Worldwide. In *Rice Production Worldwide*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5>.
- Chhabra, R., & Vij, L. (2020). Grain discoloration and its management: an emerging threat to paddy cultivation. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127(1). <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00272-2>.
- Del Ponte, E., Mahlein, K. & Bock, C. (2024). Plant disease quantification. *Agrio's Plant Pathology*, Sixth Edition, 211–225. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822429-8.00006-6>.
- Del Ponte, E. M., Pethybridge, S. J., Bock, C. H., Michereff, S. J., Machado, F. J., & Spolti, P. (2017). Standard area diagrams for aiding severity estimation: Scientometrics, pathosystems, and methodological trends in the last 25 years. *Phytopathology*, 107(10), 1161–1174. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-17-0069>
FI/ASSET/IMAGES/LARGE/PHYTO-02-17-0069-FI_F8-1504944313682.JPEG.
- Farooq, M. S., Fatima, H., Rehman, O. U., Yousuf, M., Kalsoom, R., Fiaz, S., Khan, M. R., Uzair, M., & Huo, S. (2023). Major challenges in widespread adaptation of aerobic rice system and potential opportunities for future sustainability. *South African Journal of Botany*, 159, 231–251. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.017>.
- Fukagawa, N. K., & Ziska, L. H. (2019). Rice: Importance for Global Nutrition. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 65(Supplement), S2–S3.

- <https://doi.org/10.3177/JNSV.65.S2>. Lin, L. I.-K. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45(1), 255. <https://doi.org/10.2307/2532051>.
- Loaiza, S., Verchot, L., Valencia, D., Guzmán, P., Amezquita, N., Garcés, G., Puentes, O., Trujillo, C., Chirinda, N., & Pittelkow, C. M. (2024). Evaluating greenhouse gas mitigation through alternate wetting and drying irrigation in Colombian rice production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 360(October 2023). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108787>.
- Long, W., Luo, L., Luo, L., Xu, W., Li, Y., Cai, Y., & Xie, H. (2022). Whole Genome Resequencing of 20 Accessions of Rice Landraces Reveals Javanica Genomic Structure Variation and Allelic Genotypes of a Grain Weight Gene TGW2. *Frontiers in Plant Science*, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.857435>.
- McConnaughey, M. (2014). Physical Chemical Properties of Fungi☆. In *Reference Module in Biomedical Sciences* (Issue July). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801238-3.05231-4>.
- Mew, T. W. & Gonzales, P. (2002). A handbook of rice seedborne fungi. IRRI; Science Publishers.
- 11 Mohapatra, P. K., & Sahu, B. B. (2022). Botany of Rice Plant. Panicle Architecture of Rice and Its Relationship with Grain Filling, 27–48. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67897-5_2.
- Nutter, F.W, Teng, P.S., Shokes, F.M. (1991). Disease assessment terms and concepts. *Plant Disease* 75:1187–1188.
- Olivoto, T. (2022). "Lights, camera, pliman! An R package for plant image analysis." *Methods in Ecology and Evolution*, *13*(4), 789-798. [doi:10.1111/2041-210X.13803](https://doi.org/10.1111/2041-210X.13803). <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13803>.

- Quintana, L., Gutiérrez, S., Maidana, M., Arriola, M. & Ortiz, A. (2017). Morphological characterization of *alternaria padwickii* in rice leaves (*Oryza sativa* L.) And its prevalence in the departments of Itapúa, Misiones and Caazapa. *International Journal of Advanced Research*, 5(5), 1109–1112. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/4221>.
- R Core Team. (2024). R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>.
- Rios, J. A., Debona, D., Duarte, H. S. S., & Rodrigues, F. A. (2013). Development and validation of a standard area diagram set to assess blast severity on wheat leaves. *European Journal of Plant Pathology*, 136(3), 603–611. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0191-x>.
- Rivera, J. F., Duarte, H. S. S., Furtado, E. B., & Dallagnol, L. J. (2020). A standard area diagram set for severity assessment of eyespot on rice. <https://doi.org/10.1007/s13313-020-00709-5>. *Australasian Plant Pathology*, 49(4), 367–371.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S.J. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat Ecol Evol* 3, 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>.
- Schwanck, A. A., & Del Ponte, E. M. (2014). Accuracy and reliability of severity estimates using linear or logarithmic disease diagram sets in true colour or black and white: A study case for rice brown spot. *Journal of Phytopathology*, 162(10), 670–682. <https://doi.org/10.1111/jph.12246>.
- Sharif, M. K., Butt, M. S., Anjum, F. M., & Khan, S. H. (2014). Rice Bran: A Novel Functional Ingredient. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(6), 807–816. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.608586>.

- UK, CAB International, Ellis, M. B., & Holliday, P. (1972). *Alternaria padwickii* . [Descriptions of Fungi and Bacteria]. Descriptions of Fungi and Bacteria. <https://doi.org/10.1079/DFB/20056400345>.
- Vijay, D., & Roy, B. (2013). Chapter - 4 Rice (*Oryza sativa* L.). *Breeding, Biotechnology and Seed Production of Field Crops, December*, 71–122. https://www.researchgate.net/publication/281152980_Rice_Oryza_sativa_L.
- Wang, Q., Bin, B., & Wang, H. (2023). Dynamic diffusion of hybrid rice varieties and the effect on rice production: evidence from China. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1071234>.

Anexo 1

Parámetros estadísticos de las estimaciones de severidad de cada evaluador sin ayuda del SAD desarrollado. Del 1 al 11 evaluadores con experiencia, y del 12 al 35 evaluadores sin experiencia.

Evaluator	Location shift	Scale shift	Cb	<i>r</i>	CCC
1	0,2394	1,0587	0,9706	0,8802	0,9068
2	0,2768	1,0596	0,9615	0,9058	0,9420
3	-0,0875	1,0602	0,9945	0,9286	0,9337
4	0,3765	1,1176	0,9285	0,8401	0,9048
5	0,3705	0,9407	0,9341	0,8544	0,9146
6	0,2766	1,1667	0,9522	0,8645	0,9079
7	-0,0955	1,1210	0,9890	0,9314	0,9417
8	-0,0131	0,9693	0,9994	0,8993	0,8998
9	0,1169	1,1437	0,9844	0,8398	0,8531
10	0,4210	1,0753	0,9164	0,7921	0,8644
11	0,3188	1,2129	0,9350	0,7976	0,8531
12	0,2708	1,0902	0,9612	0,8415	0,8755
13	0,0525	1,1875	0,9841	0,7560	0,7682
14	0,7992	1,2600	0,7428	0,5216	0,7021
15	0,1464	1,0087	0,9894	0,8881	0,8977
16	-0,3249	0,7713	0,9202	0,7435	0,8080
17	-0,1289	0,8925	0,9854	0,8678	0,8806
18	0,3495	1,3145	0,9101	0,7211	0,7923
19	0,4328	1,1368	0,9075	0,7378	0,8129
20	-0,0364	1,0707	0,9970	0,9459	0,9487
21	-0,1870	1,1174	0,9769	0,9101	0,9316
22	-0,1836	1,0028	0,9834	0,9218	0,9373
23	0,1366	1,0328	0,9902	0,8836	0,8923
24	0,2823	1,0788	0,9590	0,8791	0,9167
25	-0,5085	0,8307	0,8722	0,6483	0,7433
26	-0,1917	0,9479	0,9806	0,9197	0,9379
27	0,2348	0,9899	0,9731	0,7689	0,7902
28	0,2487	1,3509	0,9289	0,7866	0,8468
29	-0,1695	1,0733	0,9834	0,9192	0,9347
30	-0,0679	0,9242	0,9946	0,9133	0,9183
31	0,2169	1,2331	0,9564	0,7165	0,7491
32	0,1369	1,1535	0,9808	0,8890	0,9065
33	-0,0745	0,9733	0,9969	0,9105	0,9133
34	-0,1692	1,0103	0,9858	0,8548	0,8670
35	-0,2953	1,0147	0,9581	0,7972	0,8321

Anexo 2

Parámetros estadísticos de las estimaciones de severidad de cada evaluador con ayuda del SAD desarrollado. Del 1 al 11 evaluadores con experiencia, y del 12 al 35 evaluadores sin experiencia.

Evaluador	Location shift	Scale shift	Cb	r	CCC
1	0,0853	0,9933	0,9964	0,9801	0,9837
2	-0,0101	1,0112	0,9999	0,9925	0,9926
3	-0,0074	0,9642	0,9987	0,9719	0,9731
4	-0,1748	0,9312	0,9825	0,9547	0,9717
5	-0,0770	0,9604	0,9942	0,9729	0,9786
6	0,0038	0,9087	0,9951	0,9693	0,9740
7	-0,0828	0,8802	0,9885	0,9650	0,9762
8	-0,1013	0,9690	0,9944	0,9813	0,9868
9	-0,0354	0,9727	0,9990	0,9885	0,9895
10	-0,0362	0,9295	0,9967	0,9832	0,9865
11	-0,0634	0,9735	0,9976	0,9862	0,9885
12	0,1185	0,8597	0,9819	0,8946	0,9111
13	0,0589	0,8187	0,9787	0,8887	0,9081
14	0,2036	0,8561	0,9682	0,8827	0,9117
15	0,2865	0,7897	0,9354	0,7687	0,8217
16	0,0224	0,9291	0,9971	0,9509	0,9537
17	0,2801	0,9181	0,9589	0,8362	0,8721
18	0,3139	0,9396	0,9513	0,8526	0,8963
19	0,2333	1,1147	0,9679	0,8379	0,8657
20	-0,0051	0,8123	0,9787	0,8946	0,9140
21	-0,0557	0,8557	0,9865	0,9046	0,9170
22	0,0038	0,9231	0,9968	0,9514	0,9544
23	0,2714	0,8799	0,9569	0,8542	0,8926
24	0,3523	1,0407	0,9409	0,8438	0,8968
25	0,0420	1,0783	0,9963	0,9341	0,9375
26	0,0781	0,9317	0,9945	0,9259	0,9310
27	0,2140	1,0087	0,9776	0,8690	0,8889
28	0,1289	0,9613	0,9910	0,9273	0,9357
29	0,0010	0,8877	0,9929	0,9342	0,9408
30	0,1086	1,0494	0,9930	0,9229	0,9294
31	0,2249	1,1995	0,9598	0,8886	0,9258
32	0,1714	0,8804	0,9777	0,9119	0,9327
33	0,1355	1,0910	0,9872	0,9306	0,9427
34	0,1359	1,0021	0,9908	0,9507	0,9245
35	0,0733	0,9805	0,9971	0,9160	0,9534

Anexo 3

Protocolo para la evaluación de la mancha foliar en campos de arroz

