



*Elaboración y validación de un diagrama de severidad para la cuantificación de la severidad de la roya (*Uromyces appendiculatus* G.) EN FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)*

*Development and validation of a severity diagram for the quantification of the severity of rust (*Uromyces appendiculatus* G.) IN BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.)*

*Elaboração e validação de um diagrama de severidade para quantificação da severidade da ferrugem (*Uromyces apendiculatus* G.) EM FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)*

Jairo Lema ^I

jlema724@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-7650-5167>

Pablo Álvarez ^{II}

pabloi.alvarez@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0743-5210>

Correspondencia: jlema724@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 05 de junio de 2024 * **Aceptado:** 17 de julio de 2024 * **Publicado:** 12 de agosto de 2024

- I. Estudiante de maestría en Agronomía mención en Producción Agrícola Sostenible en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), Tulcán, Ecuador.
- II. Doctor en Ciencias en Fitopatología. Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

Resumen

La roya del fréjol, causado por *Uromyces appendiculatus* G., es una de las enfermedades fúngicas más importantes del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) que reduce el rendimiento debido a la reducción del área foliar sana y la aceleración de la caída de las hojas. Dicha enfermedad tradicionalmente se ha estimado visualmente con la ayuda de un diagrama de severidad (DS) desarrollado y validado a finales de la década de los 90 (antiguo DS) por Godoy et al. (1997) En esta investigación, se propuso un nuevo DS para la cuantificación de la severidad de la roya del fréjol con diez niveles de severidad siguiendo incrementos lineales (1,5%; 5 %; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; 40%; 45% y 60%). Para la validación del DS propuesto, fueron considerados 31 evaluadores, cada uno evaluó la severidad de 50 imágenes de folíolos de hojas de fréjol con distintos niveles de severidad de roya, cuantificados previamente mediante la librería PLIMAN del lenguaje de programación R (1,5 %–60 %). Los 31 evaluadores hicieron la estimación visual de la severidad sin ayuda del DS y luego utilizando el antiguo DS y el nuevo DS propuesto. La exactitud, precisión y confiabilidad de las estimaciones mejoraron significativamente en relación con las estimaciones sin uso del DS, o cuando usaron el antiguo DS. La baja precisión (<0,25) y una tendencia a la subestimación se presentó con un incremento de la severidad, siendo estos los principales problemas al usar el antiguo DS. Por tanto, el DS propuesto mejoró la precisión y exactitud de las estimaciones por parte de los evaluadores y serviría para optimizar tanto la eficiencia en el uso de los recursos como la toma de decisiones a la hora de controlar la roya en fréjol. Para ello se recomienda el uso inmediato de nuevo DS en detrimento del antiguo DS.

Palabras clave: Fitopatometría; Roya (*Uromyces appendiculatus* G.); Fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.); Diagramas de severidad.

Abstract

Bean rust, caused by *Uromyces appendiculatus* G., is one of the most important fungal diseases of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) that reduces yield due to the reduction of healthy leaf area and the acceleration of leaf fall. This disease has traditionally been estimated visually with the help of a severity diagram (DS) developed and validated in the late 1990s (old DS) by Godoy et al. (1997) In this research, a new DS was proposed for the quantification of bean rust severity with ten severity levels following linear increments (1.5%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%; 30%; 40%; 45% and 60%). For the validation of the proposed DS, 31 evaluators were considered, each one evaluated the

severity of 50 images of bean leaflets with different levels of rust severity, previously quantified using the PLIMAN library of the R programming language (1.5%–60%). The 31 evaluators made the visual estimation of the severity without the help of the DS and then using the old DS and the new proposed DS. The accuracy, precision and reliability of the estimates improved significantly in relation to the estimates without using the DS, or when using the old DS. Low precision (<0.25) and a tendency to underestimate occurred with an increase in severity, these being the main problems when using the old DS. Therefore, the proposed DS improved the precision and accuracy of the estimates by the evaluators and would serve to optimize both the efficiency in the use of resources and decision making when controlling rust in beans. For this purpose, the immediate use of new DS is recommended to the detriment of the old DS.

Keywords: Phytopathometry; Rust (*Uromyces appendiculatus* G.); Bean (*Phaseolus vulgaris* L.); Severity diagrams.

Resumo

A ferrugem do feijoeiro, causada por *Uromyces appendiculatus* G., é uma das mais importantes doenças fúngicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) que reduz a produtividade devido à redução da área foliar saudável e à aceleração da queda das folhas. Esta doença tem sido tradicionalmente estimada visualmente com o auxílio de um diagrama de gravidade (DS) desenvolvido e validado no final da década de 90 (antigo DS) por Godoy et al. (1997) Nesta investigação foi proposto um novo DS para quantificação da severidade da ferrugem do feijoeiro com dez níveis de severidade seguindo incrementos lineares (1,5%; 5%; 10%; 15%; 20%; 25%;). %; Para a validação do DS proposto foram considerados 31 avaliadores, cada um avaliou a severidade de 50 imagens de folíolos de feijoeiro com diferentes níveis de severidade de ferrugem, previamente quantificados utilizando a biblioteca PLIMAN da linguagem de programação R (1,5% –60%). Os 31 avaliadores fizeram a estimativa visual da gravidade sem o auxílio do SD e posteriormente utilizando o SD antigo e o novo SD proposto. A exatidão, precisão e fiabilidade das estimativas foram significativamente melhoradas em relação às estimativas sem a utilização do DS ou quando se utilizava o antigo DS. A baixa precisão ($<0,25$) e a tendência para a subestimação ocorreram com gravidade crescente, sendo estes os principais problemas na utilização do antigo SD. Assim sendo, o DS proposto melhorou a precisão e a exatidão das estimativas dos avaliadores e serviria para

otimizar tanto a eficiência na utilização dos recursos como a tomada de decisão no controle da ferrugem no feijoeiro. Para tal, recomenda-se a utilização imediata do novo DS em detrimento do antigo DS.

Palavras-chave: Fitopatometria; Ferrugem (*Uromyces appendiculatus* G.); Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.); Diagramas de gravidade.

Introducción

En el Ecuador, el fréjol común es considerado una de las leguminosas más importantes de hecho ocupa el tercer lugar en lo que respecta a la superficie plantada dentro de los cultivos transitorios con un área de 36.106 hectáreas (INEC, 2022). A nivel nutricional es uno de los productos alimenticios más importantes para la población ecuatoriana especialmente en las zonas rurales ya que el fréjol posee altos contenidos de proteína y minerales que lo hacen esencial en el balance de la dieta alimentaria, así como también es en un rubro económico para las familias campesinas, debido a que su principal fuente de ingresos (Moya et al. 2019).

El rendimiento promedio de fréjol seco registrado en Ecuador es bajo siendo estos de 0.70 t/ha en monocultivo y 0.36 t/ha cuando está asociado con otros cultivos (INEC, 2022), frente al rendimiento potencial del cultivo que se encuentra en 1,96 t/ha (Guamán et al, 2020), mientras que a nivel mundial la productividad media es de 2.5 a 3.5 t/ha (CSA, 2020). Estos bajos rendimientos responden tanto a factores ambientales bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (sequía, lluvias excesivas, baja fertilidad del suelo, estrés por calor y frío) (Odogwu et al. 2022).

Uromyces appendiculatus G. es un hongo patógeno que causa la enfermedad conocida como la roya en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Guamán et al, 2020). Esta enfermedad es una de las amenazas más devastadoras para la producción de fréjol ya que puede causar importantes pérdidas en el rendimiento de los cultivos (Odogwu et al. 2022). Ataca principalmente a las hojas y estas hacen que se enrollen y tengan la presencia de manchas de color óxido (urediniosporas) lo que provoca la caída una prematura de las hojas, lo que reduce la formación de vainas y el tamaño de las semillas. El principal modo de diseminación es por el viento siendo este el factor principal para la diseminación también puede ser diseminado por el hombre, los animales, las herramientas agrícolas, por gotas de agua y restos de plantas infectada. Este hongo no es transmitido por semillas (Wafula, et al. 2023).

Teniendo presente dicha información se hace prioritario el tener alternativas que ayuden a cuantificar la severidad de la roya en fréjol para así tomar las medidas sanitarias correspondientes y así evitar al máximo la pérdida de producción debido a la presencia de esta enfermedad en mención (Garcés et al., 2014). Para ello existe un método de control y estas son las escalas de severidad (DS) estas son representaciones ilustradas de una serie de plantas o partes de ellas con diferentes grados de daños, cuyo uso permite evaluar la cantidad de daño provocado por una enfermedad o insecto y proporciona resultados exactos, precisos y reproducibles, reduciendo la subjetividad y midiendo de manera precisa y confiable (Boito et al., 2013). Estos sistemas son importantes debido a la participación de grupos de evaluadores en condiciones de campo, los cuales resultan esenciales en sistemas de vigilancia epidemiológica (Ortega et al., 2016).

La importancia de la cuantificación de daños es fundamental para la implementación de alternativas de control de enfermedades de cultivos (Franceschi et al., 2020). La intensidad de daño causado por las enfermedades puede ser cuantificada usando las variables de incidencia y severidad (Del Ponte, 2016). La severidad es la variable que nos ayuda a evaluar e implementar alternativas de control de enfermedades en cultivos. En la severidad la unidad de muestreo enferma se describiría como el porcentaje del área total del hospedero afectada por la enfermedad y esta puede estimarse visualmente utilizando análisis de imágenes (Bock et al. 2010). Las estimaciones visuales son el método de evaluación de la severidad más utilizados en estudios de campo a pesar de los avances tecnológicos (Del Ponte et al. 2017). Por su parte la incidencia se refiere al número de unidades de las plantas que están enfermas visiblemente ya que, si se considera a la planta como una unidad de medida, entonces, la incidencia de una enfermedad es la proporción o porcentaje de plantas con síntomas de la enfermedad evaluada.

Teniendo en cuenta la importancia del cultivo de fréjol a nivel mundial Godoy et al. (1997) desarrolló y validó un diagrama de severidad (DS) en fréjol, el mismo que posee seis niveles de severidad en blanco y negro y estos son: 1; 3,7; 7,8; 14,5; 17,1 y 22,5%, estos niveles se incrementaron logarítmicamente y han sido utilizado de manera masiva para la cuantificación de la roya en fréjol a nivel mundial. De acuerdo a Del Ponte et al. (2017) quienes realizaron en los últimos 25 años una investigación acerca de los DS, donde se recalcaron nuevas tendencias metodológicas en lo que tiene que ver en el desarrollo como en la validación de la tecnología de diagramas de severidad Dentro de estas nuevas tendencias en los DS se encontraron que un mayor número de diagramas en incrementos lineales con respecto al uso de incrementos logarítmicos, así

mismo dibujos o fotografías reales, lo que ha permitido un mayor realismo de los síntomas en comparación con los dibujos en blanco y negro. También hay que destacar los métodos estadísticos implementados que van a permitir una evaluación de manera exacta, precisa y confiable por parte del evaluador (Del Ponte et al. 2017).

Dentro de los parámetros evaluados para la validación de diagramas tenemos al Coeficiente de correlación de Concordancia de Lin (LCCC), este un coeficiente que mide la concordancia de la correlación entre la exactitud y la precisión (LCCC o Rho (ρ)). Este coeficiente es obtenido por el producto del coeficiente de correlación de Pearson (r) y un coeficiente de bias (o sesgo) (C_b), el mismo que engloba valores de -1 a 1 cuando es aplicado a variables continuas. LCCC El coeficiente de correlación de Pearson (r) es una medida de la precisión ya que evalúa el grado de variabilidad, es decir cuanto mayor es la variabilidad de un conjunto de datos, menor es la precisión, para variables continuas, el intervalo de r varía de -1 a 1. Finalmente, el coeficiente de bias o de sesgo (C_b) es considerado una medida de la exactitud, pues envuelve tanto la diferencia entre los valores estimados y los reales (u) y las diferencias de escala (v). El C_b es una indicación de la diferencia entre el mejor ajuste de la línea y la línea de la concordancia perfecta que es la línea con slope (pendiente) igual a 1 y el intercepto igual a 0. Y esta influenciado por dos coeficientes, el location shift o cambio de local (u) y el scale.shift o cambio de escala (v) (Madden et al., 2007).

Por tal motivo, este estudio tuvo como objetivo el objetivo fue el desarrollar y validar un nuevo DS para cuantificar la severidad de roya (*Uromyces appendiculatus* G.) en frejol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Metodología

Colecta de foliolo sintomáticos con roya

En el mes de enero del 2024 se realizó la recolección de hojas de fréjol con síntomas característicos de roya (*Uromyces Appendiculatus*) (manchas irregulares cloróticas en el haz de la hoja), dicho cultivo se encontró en desarrollo vegetativo etapa R7 (aproximadamente 2 meses de edad) usando un muestreo aleatorio, discriminando los bordes, recolectando un total de 150 hojas (foliolo), esta recolección se la realizó en la provincia de Chimborazo, parroquia Multitud, sector Piñanpungo.

Procesamiento de muestras

Las hojas colectadas fueron digitalizadas individualmente usando un escáner EPSON I3160, con una resolución de 300 dpi (puntos por pulgada) y usando un fondo azul. Las fotos escaneadas luego

fueron guardadas en formato jpg (Joint Photographic Experts Group) y cada hoja fueron analizadas la proporción de área lesionada (severidad) usando el Software Assess 2.0.

Establecimiento de los niveles máximos y mínimos de severidad

A partir de las hojas analizadas y con las severidades cuantificadas mediante el Software Assess 2.0, se establecieron los niveles mínimos y máximos de daño ocasionado por roya en cada campo.

Elaboración de los DS

Para la elaboración de los diagramas se consideraron la mayoría de los criterios considerados por Del Ponte. et. al (2017). Partiendo de la severidad mínima y máxima encontrada en las hojas se establecieron diez niveles de severidad intermedios de roya para componer los DS, con incrementos lineales. Para la representación de los diez niveles de severidad de los DS, se utilizó imágenes con los distintitos niveles de sintomatología que presentaba la hoja, y comprobando el porcentaje de daño en programa Software Assess 2.0. Finalmente, con la información anterior se elaboraron los DS para la cuantificación de la intensidad de daño.

Elaboración de diagrama con incrementos de severidad lineales

Para la elaboración de los diagramas con incrementos lineales, se tomó en cuenta la máxima severidad encontrada en las 150 hojas, se estableció 10 clases, cada intervalo disponen de un incremento del 5% respecto al intervalo anterior hasta el 30% donde hubo mayor frecuencia de severidad, para el último intervalo se cubrió hasta el 60% donde la frecuencia de severidad fue mínimo. Se elaboró los diagramas para cada marca de clase o punto medio.

Validación y comparación del DS propuesto con el antiguo DS.

La validación de los DS fue realizada en dos etapas: la primera etapa se instruyó a 31 evaluadores sin experiencia en la cuantificación de enfermedades de plantas para que asignen un valor porcentual que representa las lesiones (área necrótica + halo clorótico) sin ninguna ayuda. Posteriormente se presentó 50 imágenes de las hojas con diferentes niveles de severidad (1,5% – 60%) en diapositivas de Microsoft Power Point para su visualización con una duración de 45 segundos y posteriormente se realizó la evaluación por parte de los evaluadores, en esta etapa no se utilizó el DS propuesto para determinar la severidad de la roya del fréjol. La segunda etapa comenzó después de 20 minutos de descanso, para ello se entregó al mismo grupo de evaluadores el DS antiguo propuesto por Godoy et al. (1997) y DS propuesto y se estimó la severidad de la roya del mismo conjunto de imágenes de hojas de fréjol. Para evaluar cada hoja, el evaluador comparó la imagen de la hoja con el DS antiguo y propuesto y luego hizo una estimativa del porcentaje de

área enferma. Cabe destacar que el orden de las imágenes fue el mismo que se realizó en la primera etapa.

Registro de datos, procesamiento y análisis

Para el registro de datos se utilizó, fotografías las mismas que han sido capturadas por la cámara fotográfica Canon pc 2006. Todo el procesamiento y análisis de datos, así como los gráficos, se realizaron con R v. 4.0.2.

Exactitud, Precisión y otros

Los datos obtenidos fueron analizados usando estadística descriptiva y diagramas de caja y bigote. La precisión general o exactitud general (igual a la concordancia) de las estimaciones, que se refiere a cómo las estimaciones de la severidad están próximas de la severidad real (Bock et al., 2016), se determinó para cada evaluador y condición (sin diagrama y con el uso de los DS) basados en el coeficiente de correlación de concordancia de Lin (LCC, pc), como se sugiere para los datos de enfermedades de las plantas (Bock et al., 2010b). Además, los dos componentes de la precisión general (precisión y sesgo o bias) fueron explorados para investigar las ramificaciones de los errores. A partir de los datos de cada evaluador, fue determinado la exactitud y precisión usando el coeficiente de correlación de concordancia de Lin (LCCC), Coeficiente de bias (C.b.), Scale shift (s.shift), Location shift (l.shift),

Comparación de precisión y confiabilidad entre métodos de estimación de severidad

Las medias de los mínimos cuadrados de cada parámetro de la concordancia LCC a través de la condición de métodos de evaluación se compararon en función de las diferencias honestamente significativas de Tukey al 5% de nivel de significancia.

Resultados y discusión

Establecimiento de los niveles de daño y elaboración del DS

El diagrama de severidad (DS) diseñado en esta investigación fue elaborado con 10 imágenes de hojas (imágenes reales), cada uno con distinta severidad de la roya del fréjol tal como lo recomienda Del Ponte et al. (2017) en las buenas prácticas del uso de DS. El diagrama de severidad con incrementos lineales tuvo los siguientes los valores: 1.5; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 45 y 60 % (Figura 1).

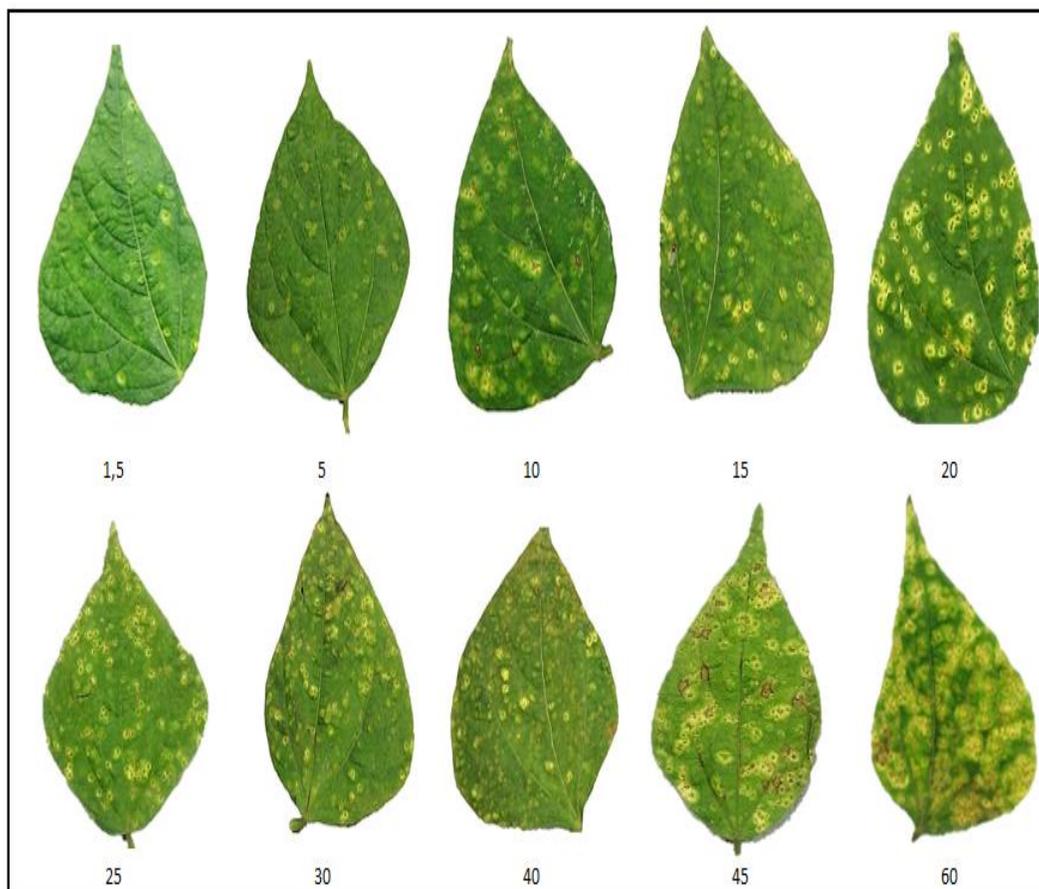


Figura 1. Diagrama con incrementos de severidad lineal propuesto.

Validación y efecto de los DS en las estadísticas de exactitud, precisión y confiabilidad

Para el 100% de los evaluadores sin experiencia, la concordancia evidenciada por el coeficiente de concordancia de Lin-LCCC (ρ_c) fue mejorada con el uso tanto del nuevo como del antiguo DS. En contra parte cuando no usaron los diagramas los rangos de concordancia (ρ_c) fueron de -0,270 a 0,745 con una media de 0,243; sin embargo, cuando se usó el nuevo DS la concordancia (ρ_c) varió de 0,402 a 0,827 con una media de 0,610 y cuando se usó el antiguo DS la concordancia (ρ_c) varió de 0,133 a 0,525 con una media de 0,379. Los coeficientes location (u) y scale shift (v) mejoraron, cuando los diagramas fueron usados por los evaluadores, los rangos de location shift sin el uso de diagramas fueron -2,286 a 4,069 con una media de 1,510; sin embargo, cuando se usó el nuevo DS el location shift (u) varió de -0,403 a 0,835 con una media de 0,409 y cuando se usó el antiguo DS el location shift (u) varió de -1,378 a -0,110 con una media de -0,768. Mientras que scale shift (v) sin diagrama los rangos fueron de 0,240 a 3,151 con una media de 1,882. Para el nuevo DS, los

rangos fueron de 0,648 a 1,731 con una media de 1,318 mientras que para antiguo DS fueron de 0,352 a 0,857 con una media de 0,547 (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de los parámetros del coeficiente de correlación de concordancia Lin-LCC (ρ_c) para las evaluaciones realizadas por los evaluadores que representan exactitud (tipos de sesgo) y precisión (coeficiente de correlación).

Método	N	u ^b	v ^c	Cb ^d	r ^e	pc ^f
DS lineal (propuesto)	31	0,409 ^b	1,318 ^b	0,862 ^c	0,531 ^c	0,610 ^c
Antiguo DS	31	-0,768 ^a	0,547 ^a	0,671 ^b	0,259 ^b	0,379 ^b
Sin uso DS	31	1,510 ^c	1,882 ^c	0,446 ^a	0,149 ^a	0,243 ^a
p - valor		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

^aMedias seguidas de la misma letra en la columna no son significativamente diferente (Tukey con un nivel del 5%).

^bLocation shift (u, 0=no bias relativa a la línea de concordancia)

^cScale shift (v, 1=no bias relativo a la línea de la concordancia)

^dFactor de corrección Bias (Cb) mide que tan lejos se desvía la línea mejor ajustada de 45° y es una medida de precisión.

^eCoefficiente de correlación como medida de precisión (r)

^fCoefficiente de correlación de concordancia de Lin (LCC), que combina ambas medidas de precisión (r) y exactitud (Cb) para medir la exactitud global (concordancia) con los valores de severidad reales

Por su parte en el coeficiente de correlación como medida de precisión (r) sin el uso de diagramas fue de -0,159 a 0,715 con una media de 0,149; sin embargo, cuando se usó el nuevo DS la precisión (r) varió de 0,290 a 0,778 con una media de 0,531 y cuando se usó el antiguo DS la precisión (r) varió de 0,081 a 0,450 con una media de 0,259. Por tanto, la precisión mejora notablemente cuando se usa el DS propuesto en comparación con el antiguo DS. Resultados superiores fueron reportados por Fragoso et al. (2022) quienes elaboraron una escala diagramática para evaluar la severidad de roya en haba (*Vicia faba*) obteniendo una precisión de 0,93 que es más alta que nuestro estudio,

esto es debido a que en este estudio se realizó dos evaluaciones lo cual ayuda a tener una mayor precisión al momento de evaluar. Mientras que Hernández et al. (2015) alcanzó una precisión 0,86 de en la evaluación de la severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz, en este caso se debe a que evaluaron a dos grupos de evaluadores uno con experiencia y uno sin experiencia. En esta línea Barbosa et al. (2006) mencionan que los valores observados de precisión de los evaluadores que no tienen experiencia no son aceptables enfatizando que un entrenamiento podría tener una influencia favorable en la calidad de las evaluaciones. En nuestro estudio se siguió las pautas sugeridas por Del Ponte et al. (2017), en donde se enfatiza que las evaluaciones se realicen a personas sin experiencia, lo cual ayudara al momento de aplicar el DS en campo y validarlo con agricultores de la zona de estudio.

Al usar el nuevo DS por parte de los evaluadores sin experiencia, la exactitud y precisión de las estimaciones de la severidad se mejoraron en relación con las estimaciones de severidad del antiguo DS (Figura 2). En general, cuando no se utilizó el nuevo DS o el antiguo DS, se tendió a sobreestimar la severidad en el rango de 15% a 26% de severidad real. Mientras que cuando se usó el antiguo DS existió una clara subestimación por parte de los evaluadores.

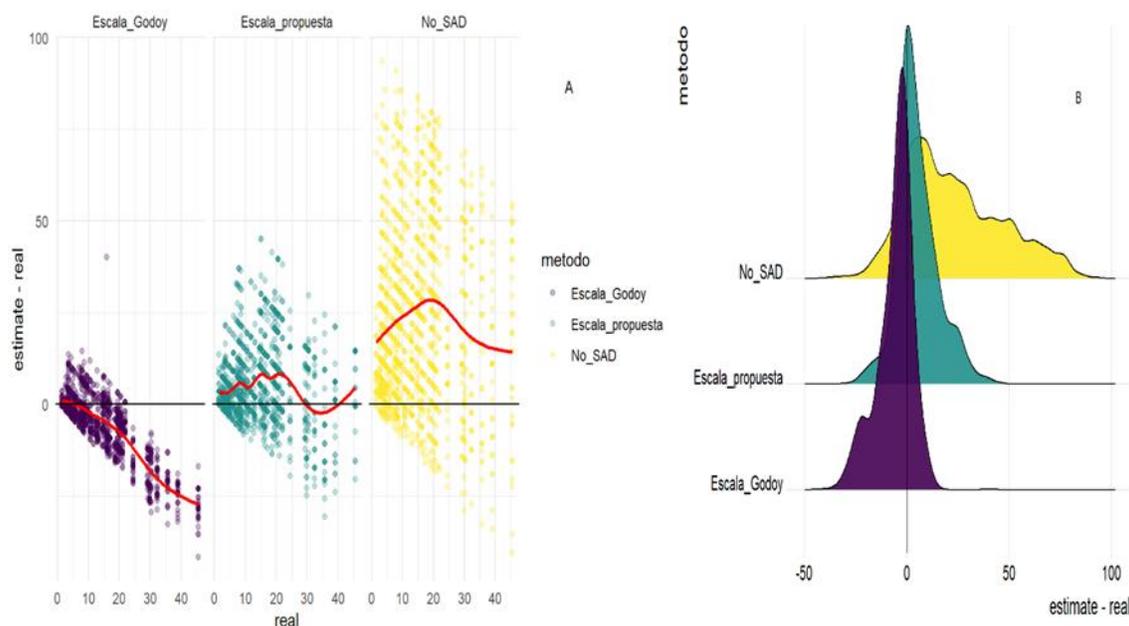


Figura 2. A) Gráfico de dispersión de la relación entre el error absoluto (estimaciones menos reales) y la gravedad real. La línea roja suave en es el resultado de un ajuste de regresión polinómica local (Loess). B) Gráficos de densidad sobre las estimaciones visuales de la gravedad de la roya del fréjol proporcionadas por los evaluadores.

El análisis del modelo lineal mixto generalizado demostró que los valores de todos los parámetros estadísticos (r , C_b , v , u , ρ_c) mejoraron enormemente cuando se utilizó el nuevo DS por el grupo de evaluadores para estimar la severidad de la roya de fréjol en comparación con el antiguo DS y sin DS. Para la mayoría de los evaluadores, el cambio de escala (v) y el cambio de ubicación (μ) estaban más cerca de uno y cero, respectivamente, cuando se usaba el nuevo DS, lo que indica que la pendiente y la altura de la línea ajustada se acercaron a la línea de concordancia con los valores reales de severidad.

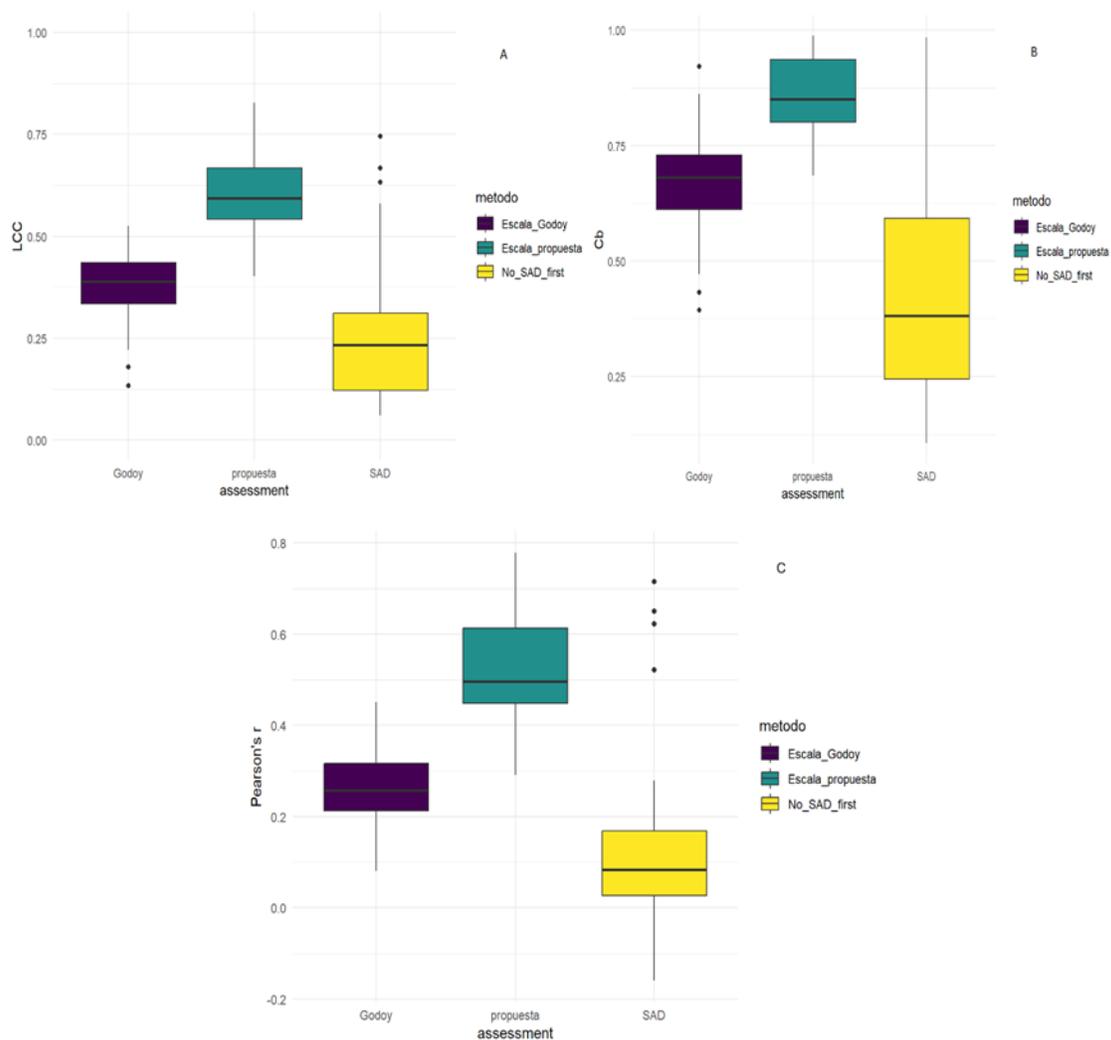


Figura 3. Diagramas de caja y bigote de: A) los parámetros del coeficiente de correlación de concordancia de Lin-LCC. B) Factor de corrección Bias. C) Coeficiente de correlación de Pearson.

Reducción de los errores en el grupo de evaluadores

Sin el uso de diagramas, el 74% (23 evaluadores) tendieron a sobreestimar el daño (severidad), mientras que existió una subestimación del 13% (4 evaluadores) y un 13% se acercó a la línea de concordancia con los valores reales de severidad (Figura 4). Resultados similares a nuestro fueron encontrados por López et al. (2024) en el cual realizaron una escala diagramática para mancha café en el cultivo de haba en donde en un total de 20 evaluadores apenas 5 evaluadores (25%) presentaron un alto nivel de precisión para la identificación de la clase correspondiente a la severidad de la enfermedad, mientras que el resto de los evaluadores mostraron deficiencias en su precisión. Al igual que en estudios desarrollados por Capucho et al., (2011); Belan et al., (2014) en donde se ha observado tendencias a la sobreestimación cuando no se utilizan los DS. Con el uso del antiguo DS, existió un 100 % de subestimación por parte de los evaluadores, esto se debe a que el antiguo DS posee seis niveles de severidad de un rango de (1 – 22,5%), esta severidad encontrada por Godoy et al. (1997) puede deberse al manejo agronómico (variedad de fréjol, riego, densidad de siembra) y las condiciones climáticas en las que se desarrolló el cultivo de fréjol (Figura 5). Sin embargo, cuando se usó el nuevo DS, el 41% (13 evaluadores) tendieron a sobreestimar el daño (severidad), mientras que existió una subestimación del 13% (4 evaluadores) y un 46% (14 evaluadores) se acercó a la línea de concordancia con los valores reales de severidad (Figura 6). Esto nos demuestra que la aplicación del nuevo DS es viable ya que mejora cuantiosamente la evaluación por parte de los evaluadores a tener valores reales de severidad cerca de la línea de concordancia (sin uso de DS. 13% - uso de DS propuesto 46%).

La diferencia entre los evaluadores en la cuantificación de la roya del fréjol confirma lo mencionado por Nutter y Schultz (1995) en cuanto a la diversificación en la destreza entre individuos para discriminar los diferentes niveles de enfermedad. La calidad de la estimación de la enfermedad, además de ser afectada por estímulos y respuestas psicológicas, puede ser influenciada por factores como el tamaño y forma de las lesiones, color y número de lesiones en la unidad de muestreo (Kranz, 1988).

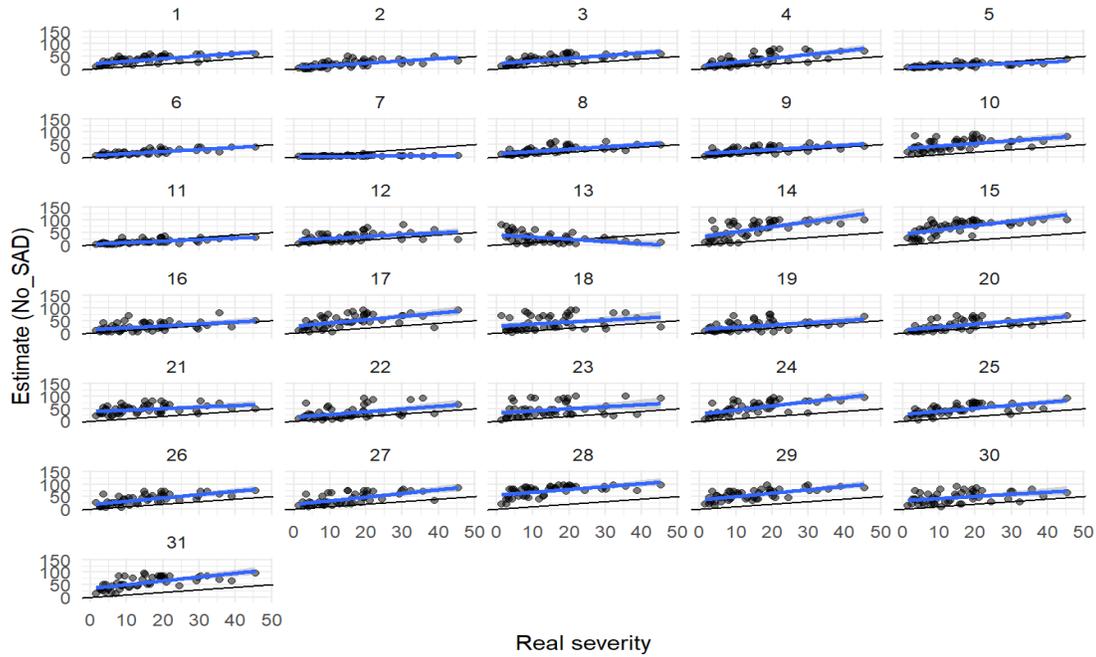


Figura 4. Estimaciones de la Severidad de la roya en fréjol sin uso de diagramas, mostrando la relación entre los valores de severidad reales (actuales) y los valores.

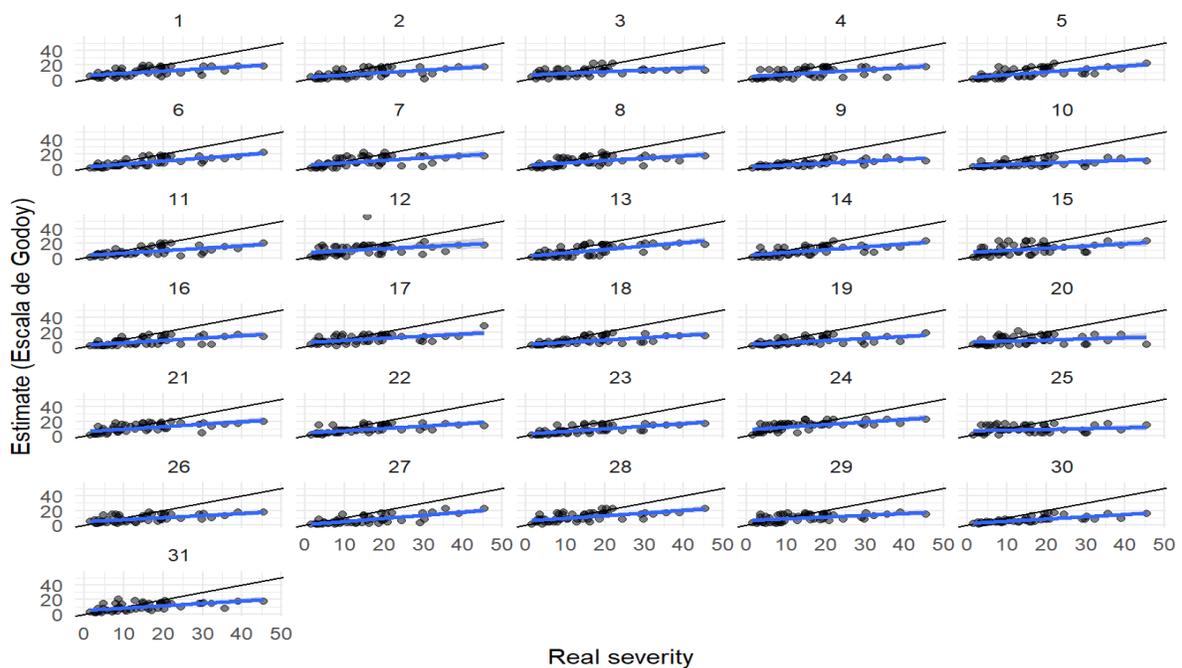


Figura 5. Estimaciones de la Severidad de la roya en fréjol con el uso de diagrama de Godoy et al. (1997), mostrando la relación entre los valores de severidad reales (actuales) y los valores.

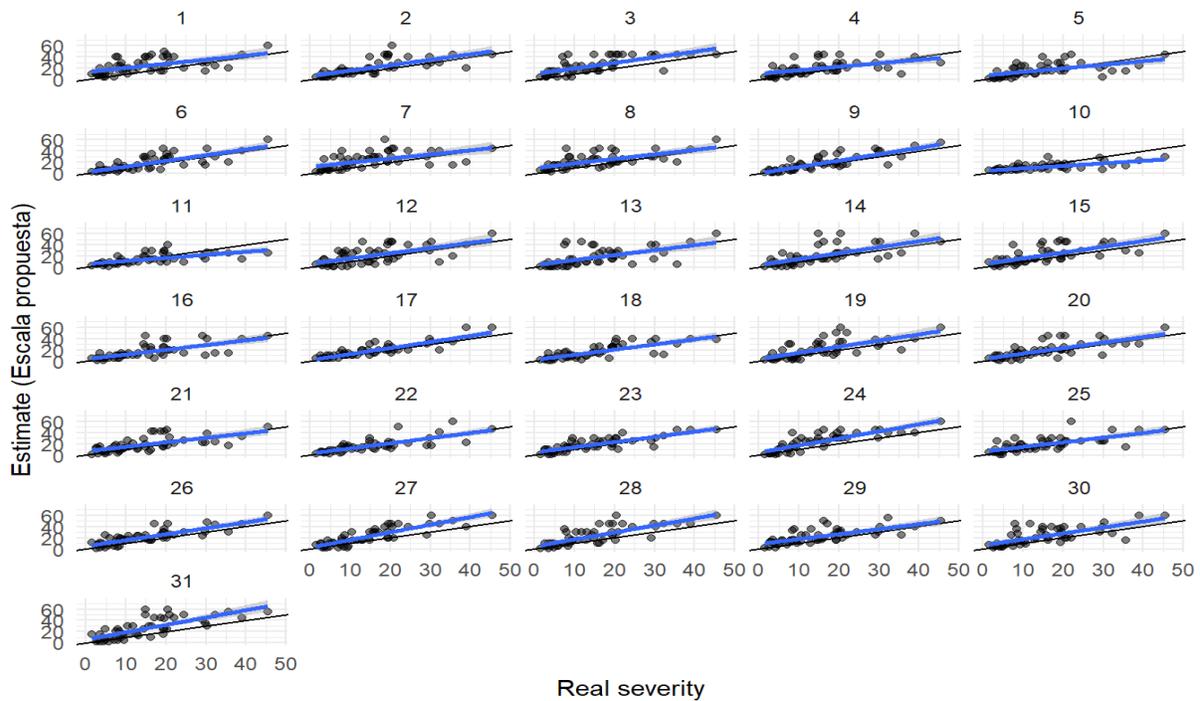


Figura 6. Estimaciones de la Severidad de la roya en fréjol con el uso de diagrama propuesto por este estudio, mostrando la relación entre los valores de severidad reales (actuales) y los valores

Se observó que el diagrama diseñado y evaluado en este estudio contribuyó al grupo de evaluadores a mejorar considerablemente sus evaluaciones, disminuyendo el sesgo el cual tuvo una tendencia a sobre estimar el daño (severidad). Esta comparación entre los diagramas tanto con el antiguo como el propuesto valió para corroborar la información indicada por Schwanck y Del Ponte (2014) donde se sugiere que los diagramas con incrementos lineales (DS propuesto) tienen mayores mejoras en cuanto a la disminución del error en comparaciones con los incrementos logarítmicos (DS antiguo), y esto fue demostrado en las evaluaciones realizadas al grupo de evaluadores (Figura 7).

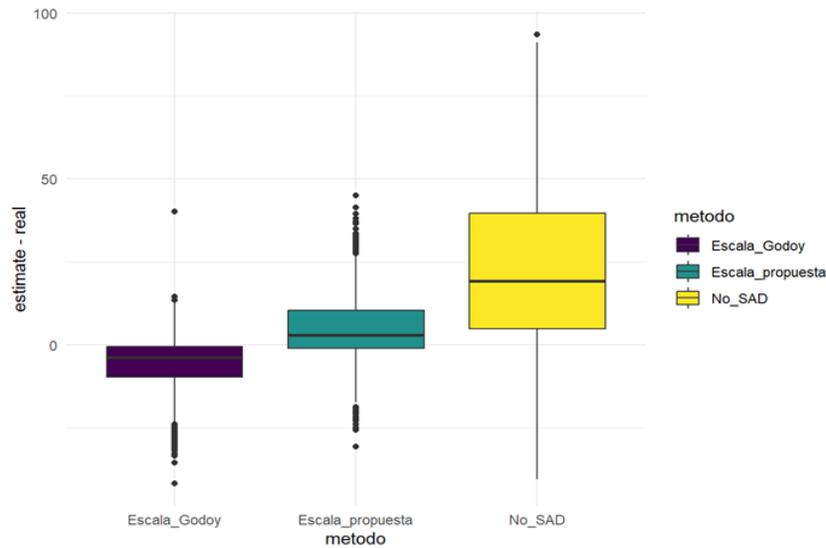


Figura 7. Diagramas de caja y bigote de los residuos de las estimaciones de la severidad de la roya del fréjol.

Y esto es corroborado en la Figura 8 que muestra como el no uso de DS hace que exista una sobreestimación por parte de los evaluadores. Según Nascimento et al. (2005) señalan que una sobreestimación en la mayoría de los evaluadores indica la presencia de desvíos positivos constantes para todos los niveles de severidad de la enfermedad. Mientras que con el uso del antiguo DS, hubo una subestimación del daño por parte de los evaluadores. Finalmente, con el DS propuesto se dio la mejora en la precisión de las estimaciones de la severidad de la roya en el fréjol.

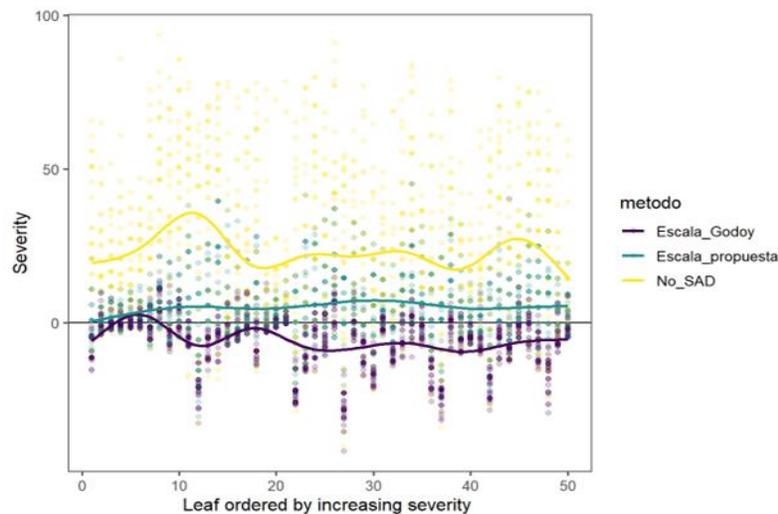


Figura 8. Densidad de error de las estimaciones de la severidad de la roya del fréjol.

La herramienta disponible para la evaluación de la severidad de la roya en fréjol presentada por Godoy et al. (1997) contiene algunas inconsistencias. La primera es que utilizaron un número reducido de evaluadores (total cinco), y estos eran con experiencia. Del Ponte et al. 2017 hacen énfasis en que, al seleccionar evaluadores para la validación, hay que tomar en cuenta que no tengan experiencia previa en el uso del DS bajo evaluación y un mínimo de 15 evaluadores seleccionados al azar, estas consideraciones no fueron tomadas en cuenta por Godoy et al. (1997). También hay que destacar que las inferencias sobre la exactitud y precisión de las estimaciones se basaron en pruebas aplicadas por separado a los coeficientes de regresión lineal a nivel del evaluador en lugar de a nivel de grupo, un enfoque que fue considerado inapropiado a favor del análisis de concordancia (Bock et al., 2010b).

Otra de las razones por la que el SD antiguo no es idóneo para evaluaciones es debido al uso de imágenes en blanco y negro, esto hace que no sea lo suficientemente precisas, de hecho existió una sobreestimación de severidad por parte de 23 evaluadores, esto se debe a la gran cantidad de pequeñas pústulas que se encuentran en la hoja del fréjol, lo que a menudo genera estimaciones diferentes, y la tendencia es a sobreestimar la severidad (Godoy et al. 1997), lo contrario pasa usando nuestro nuevo SD propuesto ya que como se observó mejoró significativamente precisión general y la confiabilidad entre los evaluadores (Del Ponte et al., 2017).

Finalmente, el DS elaborado por Godoy et al (1997), se elaboró y se desarrolló basándose en incrementos logarítmicos utilizando ley de Weber-Fechner (Bock et al., 2010). El Antiguo DS posee seis niveles de severidad que oscilan entre del 1 al 22,5%, por tanto, esto produce un rango donde el error de las estimaciones asistidas se mantuvo en alta magnitud, impidiendo a los evaluadores mejorar la precisión (Del Ponte et al., 2017). Mientras que nuestra propuesta fue realizada con incrementos lineales, obteniendo así 10 niveles de severidad que ayudo para aumentar la precisión y confiabilidad general de las estimaciones en niveles altos, cabe destacar que un mayor número de niveles al propuesto no es lo recomendado ya que puede ralentizar la duración del tiempo de evaluación (Bock et al., 2016).

Por tanto, los resultados de nuestra investigación muestran que se debe dejar de usarse el DS propuesto por Godoy et al., (1997) debido principalmente al enorme prejuicio que da sobre las estimaciones por parte de los evaluadores lo que genera en resultados imprecisos. Mediante las comparaciones entre los dos DS se demostró que el uso del nuevo DS mostró mejoras significativas en exactitud, precisión y confiabilidad de parte de los evaluadores sin experiencia. En general,

podemos decir el diagrama propuesto en este estudio ayudó al grupo de evaluadores a mejorar considerablemente sus evaluaciones, reduciendo el sesgo que tendía a sobreestimar los daños con respecto al DS antiguo. De acuerdo con (Del Ponte et al., 2017), el desarrollo de este nuevo DS, sirve para ayudar a la evaluación visual de severidad de la roya en fréjol y fue motivado por desarrollos recientes en la tecnología de los diagramas de severidad (DS), así como mejores prácticas para el desarrollo y evaluación estadística de estas herramientas de Fitopatometría.

El nuevo DS propuesto en este estudio es una herramienta que sirve para la evaluación de la severidad que considera buenas prácticas en la elaboración y validación de diagramas (Del Ponte et al., 2017) y que ha sido analizado la mejora de la exactitud, precisión y confiabilidad de las evaluaciones realizadas con y sin el uso de los diagramas. En el presente estudio, los evaluadores que no usaron el nuevo DS, tendieron a sobrestimar la severidad de la enfermedad; un fenómeno similar se observó en estudios anteriores (Capucho et al., 2011; Lenz et al., 2010). Por otro lado, el bajo rendimiento, especialmente con el grupo de evaluadores que uso el antiguo DS puede deberse a que este diagrama se desarrolló en base a la suposición (refutada) de que los incrementos entre severidades deben ser basado en la (inexistente) ley de Weber-Fechner usado durante muchos años en fitopatometría (Nutter y Esker, 2006; Bock et al., 2010).

Conclusión

La escala propuesta en este estudio mejoró sustancialmente las estimaciones tanto en la precisión como en la exactitud (0,531 y 0,610 respectivamente) en comparación a la escala de Godoy por tanto esta se recomienda su inmediato para la cuantificación de la severidad de roya en fréjol, en investigaciones de campo, principalmente para evaluar el desempeño de nuevos métodos de control como fungicidas, antagonistas microbianos y nuevas variedades o líneas de fréjol con resistencia horizontal en la experimentación de campo

Referencias

1. Barbosa, M. et al. Diagrammatic Scale Severity for Tar Spot Complex in Maize. *Summa Phytopathol.* 2006;32(1):57-62. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext_plus&pid=S0185-33092015000100095&lng=es&tlng=en&nrm=iso

2. Belan, L. et al. Diagrammatic scale for assessment of bacterial blight in coffee leaves. *Journal of Phytopathology*. 2014;164(1):801-810. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jph.12272>
3. Bock, C. et al. Accuracy of plant specimen disease severity estimates: concepts, history, methods, ramifications and challenges for the future. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. 2016;11(32). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201611032>
4. Bock, C. et al. Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2010;29(2):59-107. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352681003617285>
5. Bock, C. et al. Accuracy of plant specimen disease severity estimates: concepts, history, methods, ramifications and challenges for the future. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. 2017;11(32) <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/PAVSNNR201611032>
6. Boito, Graciela et al. Desarrollo y validación de una escala para evaluación de daño por orugas defoliadoras en soja (*Glycine max L.*). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. (2013);45(1):93-97. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837652008>
7. Capucho A, et al. Development and validation of a standard area diagram set to estimate severity of leaf rust in *Coffea arabica* and *C. canephora*. *Plant Pathology*. 2011;60(6):1144-1150. Disponible en: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-3059.2011.02472.x>
8. Central Statistical Agency. Report on area and production of major crops. Abril de 2021.
9. Del Ponte, E, Pethybridge S, Bock C, Michereff S, Machado F, Spolti, P Standard area diagrams for aiding severity estimation: scientometrics, pathosystems, and methodological trends in the last 25 years. *Phytopathology*. 2017;107(10): 1161-1174. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PHYTO-02-17-0069-FI>
10. Franceschi, V. et al. A new standard area diagram set for assessment of severity of soybean rust improves accuracy of estimates and optimizes resource use. *Plant Pathology*. (2020); 69 (3): 495-505. Disponible en: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ppa.13148>

11. Fragoso, C. et al. Escala diagramática para evaluar la severidad de roya en haba (*Vicia faba*). *Revista mexicana de fitopatología*. 2022;40(3):474-482. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v40n3/2007-8080-rmfi-40-03-474-es.pdf>
12. Garcés, F. et al. Enfermedades y componentes de rendimiento en dieciséis genotipos de fréjol en Quevedo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*. 2014;6(2):34-37. Disponible en: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/130/144>
13. Godoy C, et al. Diagrammatic scales for bean diseases: development and validation. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 1997;104(4):336-344. Disponible en: http://sitav.pga.uem.br/download/escala-diagramatica-feijoeiro_claudia-v-godoy_1996.pdf
14. Guamán R, et al. Adaptabilidad de cuatro variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la parroquia Luz de América - Ecuador. *Revista Digital Siembra*. 2020;7(4):71-82. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1908/2267>
15. Hernández, Ramos et al. Escala Diagramática de Severidad para el Complejo Mancha de Asfalto del Maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología*. (2015); 33 (1): 95-103. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61240687006>
16. INEC Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. ESPAC. [Internet]. [citado 24 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZTEyY2NiZDI0YjZlYi00ZGQ1LTlkNGEtNDE1OGViM2Q1N2VlIiwidCI6ImYxNThhMmU4LWNhZWVtNDQwNi1iMGFiLWY1ZTI1OWJkYTEyMiJ9&pageName=ReportSection>
17. Kranz, J. *Measuring Plant Disease*. [Internet]. [citado 13 de abril de 2024]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-95534-1_4
18. Lenz, G; et al. Escala diagramática para avaliação de severidade de mancha-parda em arroz". *Ciencia Rural*, 2010;40(4):752-758. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782010000400002&script=sci_abstract&tlng=pt.
19. López Reyes, et al. Escala diagramática para cuantificar la severidad de mancha café en el cultivo de haba. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 2023;42(1):1-8. Disponible en: <https://www.rmfito.smf.org.mx/volumenes/4212024/articulos/RMF2209-4.%20Espa%C3%B1ol.pdf>

20. Madden, L. et al. The Study of Plant Disease Epidemics. APS Press - The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, U.S.A. (2017); 20-30. Disponible en: <https://www.plantprotection.pl/pdf-92840-26929?filename=The%20Study%20of%20Plant.pdf>
21. Moya, C. et al. Comparación de seis variedades de fréjol en el rendimiento y sus componentes en Chaltura, Imbabura, Ecuador. *Cultivos Tropicales*. 2019;40(4):71-82. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v40n4/1819-4087-ctr-40-04-e01.pdf>
22. Nascimento R, et al. Elaboração e validação de escala diagramática para cancro bacteriano da videira. *Summa Phytopathol.* 2005;31(1):59-64. Disponible en: http://sitav.pga.uem.br/download/escala-diagramatica-cancro-bacteriano-videira_ana-r-p-nascimento_2005.pdf
23. Nutter, F y Schultz, P. E Improving the accuracy and precision of disease assessments: Selection of methods and use of computer-aided training programs. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 1995;17(2):174-178. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07060669509500709>
24. Schwanck A y Del Ponte E. 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*. 2014;161(10):670-682. <https://agrariacad.com/2021/07/24/elaboracao-e-validacao-de-diagramas-de-area-padrao-dap-para-avaliacao-da-severidade-do-mildio-peronospora-variabilis-gaum-em-quinoa-chenopodium-quinoa-willd/>
25. Odogwu B, et al. Prevalence and variability of the common bean rust in Uganda. *African Journal of Agricultural*. 2021;11(49):1-15. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311993781_African_Journal_of_Agricultural_Research_Prevalence_and_variability_of_the_common_bean_rust_in_Uganda
26. Ortega, S. et al. Escalas logarítmicas diagramáticas para evaluar la severidad del manchado de hojas y cálices de jamaica. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 2016;34(3);270–285. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092016000300270&script=sci_arttext&tlng=es
27. Wafula B, et al. Prevalence and Host Resistance to Common Bean Rust Disease in Western and Central Kenya. *International Journal of Agronomy*. 2023;1(1):1-10. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/371032867_Prevalence_and_Host_Resistance_to_Common_Bean_Rust_Disease_in_Western_and_Central_Kenya

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).