



Desarrollo y validación de escalas diagramáticas de severidad de ojo de gallo y minador en hojas de cafeto

Development and validation of diagrammatic scales for the severity of eye spot and leaf miner in coffee leaves

Desenvolvimento e validação de escalas diagramáticas de severidade de olho-de-galo e minador em folhas de cafeiro

ARTÍCULO ORIGINAL



Gerson Camilo Acosta Huaman camiloggwp@gmail.com

Luis Tibhy Acosta Trinidad luistibhy@hotmail.com

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Oxapampa, Perú

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.364>

Artículo recibido: 18 de marzo 2025 / Arbitrado: 21 de abril 2025 / Publicado: 1 de mayo 2025

RESUMEN

El **objetivo** de esta investigación fue desarrollar y validar escalas diagramáticas de severidad para ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y minador (*Leucoptera coffeella*) del cafeto, asegurando la exactitud y precisión en la evaluación visual de lesiones foliares. Se recolectaron hojas de cafeto en dos parcelas agrícolas con diferentes intensidades de lesión foliar, y la severidad real se determinó digitalmente. Con base en la distribución de frecuencia de los valores de severidad y de acuerdo con la ley de agudeza visual de Webber-Fechner, se establecieron los límites mínimo y máximo, así como los niveles intermedios de cada escala. Diez evaluadores validaron ambas escalas estimando la severidad de 66 hojas con ojo de gallo y 40 con minador, primero sin la escala y luego con ella, con un intervalo de 7 días entre estimaciones. Se verificó la exactitud, la precisión y la reproducibilidad de las estimaciones. El uso de la escala mejoró la exactitud, precisión y reproducibilidad de las estimaciones de la severidad de las lesiones foliares causadas por ojo de gallo y minador, en comparación con las estimaciones realizadas sin la escala. Las escalas permitieron una estimación visual precisa de la severidad de ojo de gallo y minador en hojas de cafeto.

Palabras clave: *Coffea arabica*; Catimor; Minador del cafeto; Ojo de gallo del cafeto; Regresión lineal

ABSTRACT

The **objective** of this research was to develop and validate diagrammatic severity scales for coffee leaf spot (*Mycena citricolor*) and coffee leaf miner (*Leucoptera coffeella*), ensuring accuracy and precision in the visual assessment of foliar lesions. Coffee leaves were collected from two agricultural plots with different intensities of foliar lesions, and the actual severity was determined digitally. Based on the frequency distribution of severity values and following Webber-Fechner's law of visual acuity, the minimum and maximum limits, as well as the intermediate levels of each scale, were established. Ten evaluators validated both scales by estimating the severity of 66 leaves with leaf spot and 40 with leaf miner, first without the scale and then with it, with a 7-day interval between assessments. The accuracy, precision, and reproducibility of the estimates were verified. The use of the scale improved the accuracy, precision, and reproducibility of severity estimates for foliar lesions caused by leaf spot and leaf miner, compared to estimates made without the scale. The scales allowed for an accurate visual estimation of the severity of leaf spot and leaf miner in coffee leaves.

Key words: *Coffea arabica*; Catimor; Coffee leaf miner; Coffee red leaf spot; Linear regression

RESUMO

O **objetivo** desta pesquisa foi desenvolver e validar escalas diagramáticas de severidade para a mancha olho-de-galo (*Mycena citricolor*) e o bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) do cafeiro, garantindo a exatidão e precisão na avaliação visual das lesões foliares. Folhas de cafeiro foram coletadas em duas parcelas agrícolas com diferentes intensidades de lesão foliar, e a severidade real foi determinada digitalmente. Com base na distribuição de frequência dos valores de severidade e de acordo com a lei da acuidade visual de Webber-Fechner, foram estabelecidos os limites mínimo e máximo, assim como os níveis intermediários de cada escala. Dez avaliadores validaram ambas as escalas estimando a severidade de 66 folhas com olho-de-galo e 40 com bicho-mineiro, primeiro sem a escala e depois com ela, com um intervalo de 7 dias entre as estimativas. A exatidão, precisão e reproducibilidade das estimativas foram verificadas. O uso da escala melhorou a exatidão, precisão e reproducibilidade das estimativas da severidade das lesões foliares causadas por olho-de-galo e bicho-mineiro, em comparação com as estimativas feitas sem a escala. As escalas permitiram uma estimativa visual precisa da severidade do olho-de-galo e do bicho-mineiro em folhas de cafeiro.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; Catimor; Minador do cafeiro; Olho-de-galo do cafeiro; Regressão linear

INTRODUCCIÓN

El cafeto (*Coffea arabica*) es la principal especie cultivada en las unidades agrícolas de seis distritos de la provincia de Oxapampa, en selva central del Perú. En estos distritos, en las temporadas cálidas y lluviosas, la productividad se ve afectada debido al aumento en la incidencia de plagas asociadas a estas condiciones. El ojo de gallo (*Mycena citricolor*) es una enfermedad que alcanza su mayor severidad durante la temporada de lluvias (1,2). No obstante, el minador de las hojas del cafeto (*Leucoptera coffeella*) es una plaga que alcanza su mayor severidad durante la temporada de calor, reduciendo el área fotosintética y la producción de café (3,4), y una infestación severa de este lepidóptero nocturno provoca defoliación del cafeto (5).

La cuantificación precisa de la severidad de afecciones foliares es crucial para la implementación de agrotécnicas en el manejo de cafetos; sin embargo, la estimación visual en campo podría ser subjetiva y variable entre evaluadores, lo que conlleva a la necesidad de escalas diagramáticas de severidad estandarizadas, para mejorar la precisión en la evaluación de estas plagas. En este sentido, los evaluadores deben estimar la severidad con la mayor precisión posible, asegurando que sus estimaciones sean consistentes entre sí (6). Una escala diagramática es una herramienta adecuada para evaluar la severidad de una plaga con precisión y reproducibilidad (7,8). En su defecto, es

fundamental contar con un método estandarizado para medir la severidad de una plaga, que garantice alta exactitud, precisión y reproducibilidad en las estimaciones (9). Ante ello, el uso de una escala diagramática para evaluar la gravedad de deterioro foliar mejora la confiabilidad y precisión de evaluadores experimentados e inexpertos (10).

Las escalas diagramáticas de severidad, ayudan en la evaluación visual de la gravedad de una mancha foliar en campo e incluso en experimentos que comparan tratamientos de manejo de plagas foliares (11). En esta línea, su uso se extiende a la estimación de severidad de una plaga en ensayos con fungicidas foliares y distintos cultivares de una especie de interés económico; además, ofrece la ventaja de ser específica para la plaga en estudio (12). Por lo tanto, pueden emplearse para evaluar la gravedad en estudios de epidemiología, resistencia cuantitativa del huésped y eficacia de prácticas de manejo en este importante patosistema (13). Godoy *et al.* (14) sugieren que la aplicación de una escala para evaluar el área foliar afectada, mejora la exactitud y precisión de los evaluadores inexpertos y es adecuada para aquellos familiarizados con su uso, permitiendo estimaciones de severidad cercanas a los valores reales. Fragoso-Benumea *et al.* (15) confirman que una escala diagramática mejora significativamente la exactitud y reproducibilidad en la evaluación del daño foliar. El desarrollo y validación de estas escalas diagramáticas de severidad permitirá estandarizar

las evaluaciones visuales de los daños de las dos plagas, lo que reducirá la subjetividad y mejorará la precisión en los estudios de plagas en cafetales. Ante estas consideraciones el objetivo de esta investigación fue desarrollar y validar escalas diagramáticas de severidad para ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y minador (*Leucoptera coffeella*) del cafeto, para asegurar la exactitud y precisión en la evaluación visual de lesiones foliares, con el fin de mejorar la eficiencia en el monitoreo fitosanitario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El procesamiento de hojas de cafetos y desarrollo de escala diagramática se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fitopatología del Programa de Estudios de Agronomía de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) de la provincia de Oxapampa, Perú, entre enero y febrero de 2025.

Colecta de hojas

Para desarrollar la escala diagramática de ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*), se colectaron 200 hojas de cafetos variedad Catimor (periodo vegetativo de 6 años) sin y con daño foliar particular, en una unidad agrícola (extensión de 2500 m²) ubicada en el sector San Roque, distrito de Chontabamba (Oxapampa). La colecta se realizó en 10 puntos (20 hojas colectadas por punto) de un transecto recto de 50 m con orientación oeste-

este. El arreglo productivo fue monocultivo. La unidad agrícola, se situó entre la latitud sur de 10°33'28.53" y longitud oeste de 75°26'05.06", con altitud de 1939 msnm.

Para la escala diagramática de minador del cafeto (*Leucoptera coffeella*), se colectaron 100 hojas de cafeto variedad Catimor (periodo vegetativo de 1.5 años) sin y con daño foliar respectivo, en una unidad agrícola (2000 m²) ubicada en el sector Espiritupata, distrito de Huancabamba (Oxapampa). La colecta se realizó en 5 puntos (20 hojas colectadas por punto) de un transecto recto de 50 m con orientación sur-norte. El arreglo productivo fue policultivo: cafeto asociado con plátano (*Musa paradisiaca*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y ají (*Capsicum annuum*). La unidad agrícola, se situó entre la latitud sur de 10°24'08.16" y longitud oeste de 75°33'44.90", con altitud de 1684 msnm.

Procesamiento de hojas

Las hojas de cafeto colectadas con lesiones foliares por ojo de gallo y minador fueron fotografiadas individualmente con una resolución de imagen de 50 mega pixeles sobre un fondo blanco para mejorar la nitidez y junto a una regla de 20 cm. El porcentaje de lesión foliar por cada plaga fueron valorados utilizando el software de análisis de imágenes ImageJ 1.54g. Las lesiones marrones fueron consideradas como área muerta. El área foliar afectada por la plaga respectiva y el

área total de hoja se obtuvieron con el software. El porcentaje de severidad se obtuvo del cociente del área foliar afectada entre el área total foliar multiplicado por 100, y fue considerado como severidad real de la plaga referente.

Desarrollo de escalas diagramáticas

Se consideraron los niveles máximos y mínimos de afección foliar de ojo de gallo y minador encontrados naturalmente en el campo y se desarrollaron los intervalos perceptibles de severidad basados en la sensibilidad del ojo humano de cada escala diagramática siguiendo la ley de agudeza visual de Webber-Fechner (16). Primero, se establecieron seis niveles de severidad para la escala diagramática de ojo de gallo. Segundo, se establecieron cinco niveles de severidad para la escala diagramática de minador. Las escalas se construyeron utilizando el software Microsoft Publisher versión 2019.

Validación de escalas diagramáticas

Para la validación de escalas propuestas, diez evaluadores realizaron estimaciones visuales de la severidad de hojas. El grupo estuvo compuesto por estudiantes del noveno semestre del Programa de Estudios de Agronomía de la UNDAC. Antes de realizar las estimaciones, los evaluadores recibieron instrucciones sobre el procedimiento para llevar a cabo la evaluación. Se cargaron un total de 66 imágenes de hojas con síntomas de ojo de gallo

y 40 imágenes de hojas con daño de minador en un archivo de Microsoft PowerPoint (MPP) versión 2019 respectivamente. Cada diapositiva contenía una única imagen de hoja, y el orden de aparición de los niveles de daño fue aleatorizado. La presentación fue configurada para mostrar cada imagen durante 30 segundos.

La evaluación de cada escala diagramática se llevó a cabo en dos momentos. Primero, los evaluadores estimaron el nivel de severidad foliar sin la escala propuesta. Siete días después, se realizó la prueba nuevamente con la escala propuesta y con los mismos evaluadores. Se facilitó un formato de registro de estimación de la severidad foliar, en cada momento de evaluación y por cada escala propuesta. La evaluación entre ambas escalas propuestas tuvo un periodo de dos semanas. En un aula pedagógica, los evaluadores organizados al azar en dos filas (5 evaluadores por fila) observaron la presentación del archivo de MPP a través de un proyector a distancia entre 2 a 4 m. Para validar los beneficios de utilizar ambas escalas propuestas, los datos fueron analizados mediante dos métodos: regresión lineal y la prueba t de Student.

Análisis estadístico

El análisis de regresión se realizó con los datos de las estimaciones visuales de severidad sin y con la escala propuesta, y la severidad real para síntomas de ojo de gallo y minador respectivamente.

La exactitud de las estimaciones se determinó mediante regresión lineal considerando la severidad de la imagen presentada en MPP como variable independiente (x) y las estimaciones visuales de los evaluadores como variable dependiente (y).

La precisión de las estimaciones se evaluó utilizando el coeficiente de determinación (R^2), este último calculado a partir de las diferencias entre la estimación visual de la severidad y el valor real en la imagen de hoja en la presentación. Para comparar la validez de las escalas diagramáticas se utilizó la prueba t de Student, aplicada al intercepto de la regresión lineal (n) y al coeficiente angular de la línea recta estimada (m), donde se probaron la hipótesis nula $H_0: n_0 = 0$ y $m_1 = 1$ y alternante $H_1: n_0$

$\neq 0$ y $m_1 \neq 1$. El nivel de significancia para los análisis estadísticos fue de 5% ($p < 0.05$) y se realizaron con el software Jamovi 2.6.23.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escala diagramática para evaluar la severidad del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en hojas de cafeto

La severidad natural, evaluada en 200 hojas adultas en campo, varió entre 0% y 18.7%. Con base en la ley de agudeza visual de Weber-Fechner, se establecieron seis niveles de severidad: 0%, 1%, 2%, 5%, 10% y 18% Figura 1.



Figura 1. Escala diagramática para evaluar la severidad del ojo de gallo causado por *Mycena citricolor* en hojas de cafeto.
Los niveles de severidad fueron 0%, 1%, 2%, 5%, 10% y 18%.

Al estimar la severidad del ojo de gallo en hojas de cafeto, sin la aplicación de la escala diagramática propuesta, la prueba t de coeficientes lineales mostró variaciones significativas en las estimaciones del evaluador ($p < 0.05$). Además, los

valores del R^2 oscilaron entre 0.482 y 0.837, con una media de 0.645, en la evaluación de la severidad. Al utilizar la escala, los valores del R^2 variaron de 0.81 a 0.939, con una media de 0.86, en la estimación de la severidad Tabla 1. Estos resultados indican

que las estimaciones fueron precisas al utilizar la escala y concordante con los valores de R^2 que validó las escalas de Custódio *et al.* (17) y Belan *et al.* (18). En este mismo contexto Freitas *et al.* (19) reportan que el promedio del R^2 superior al 0.72 para el 100% de los coeficientes de cada ecuación, es indicativo de que la escala mejora la precisión y exactitud en la estimación visual de una severidad foliar. Para los componentes de la ecuación de regresión lineal.

En base a los valores del intercepto, sin el apoyo de la escala diagramática, siete evaluadores (II, V, VI, VII, VIII, IX y X) sobreestimaron la severidad foliar, mientras que, con su uso, tres evaluadores (VI, IX y X) la sobreestimaron. Para el coeficiente angular, ocho evaluadores (I, III, V, VI, VII, VIII, IX y X) sobreestimaron la severidad foliar sin el uso

de la escala diagramática, mientras que solo dos (I y VIII) lo hicieron con su soporte. Esto indica que el uso de la escala diagramática propuesta reduce la tendencia a sobreestimar la severidad de ojo de gallo en hojas de cafeto. Del mismo modo, Braga *et al.* (10) reportaron que el uso de una escala diagramática mejora la precisión inter e intraevaluadores de evaluadores experimentados e inexpertos. Lorenzetti *et al.* (20) informan que el uso de una escala diagramática permite reducir la sobreestimación o subestimación de una severidad fúngica foliar observada. Esto refuerza lo planteado por Francelino *et al.* (21) quienes indican que el uso de una escala permite corregir la tendencia a sobrevalorar la gravedad, acercando las estimaciones a los valores reales.

Tabla 1. Coeficientes de regresión lineal de la severidad estimada del ojo de gallo (*M. citricolor*) en hojas de cafeto evaluada por 10 evaluadores sin y con la escala diagramática propuesta

Evaluador	Sin escala			Con escala		
	n_0	m_1	R^2	n_0	m_1	R^2
I	2.56 ^{ns}	4.01 ^{**}	0.729	0.176 ^{ns}	1.106 ^{**}	0.878
II	2.714 ^{**}	0.753 ^{**}	0.633	-0.012 ^{ns}	0.982 ^{**}	0.939
III	-0.793 ^{ns}	1.741 ^{**}	0.482	-0.527 ^{ns}	0.996 ^{**}	0.839
IV	0.627 ^{ns}	0.423 ^{**}	0.482	0.598 ^{ns}	0.871 ^{**}	0.813
V	1.09 ^{**}	1.32 ^{**}	0.837	0.369 ^{ns}	0.95 ^{**}	0.865
VI	5.56 ^{**}	3.02 ^{**}	0.737	0.723 [*]	0.958 ^{**}	0.856
VII	3.81 ^{**}	1.55 ^{**}	0.649	0.546 ^{ns}	0.994 ^{**}	0.81
VIII	3.38 ^{**}	1.87 ^{**}	0.738	-0.052 ^{ns}	1.004 ^{**}	0.937
IX	10.73 ^{**}	2.51 ^{**}	0.515	0.703 [*]	0.989 ^{**}	0.852
X	3.58 [*]	3.11 ^{**}	0.643	0.863 [*]	0.98 ^{**}	0.812

*La hipótesis nula considerando $n = 0$ o $m = 1$ fue rechazada según la prueba t ($p < 0.05$)

**Representa resultados altamente significativos con 1% de probabilidad para la prueba t ($p < 0.01$)

^{ns}La hipótesis nula no fue rechazada al nivel del 5%

La escala diagramática propuesta mostró una alta reproducibilidad. Sin su uso, el valor del R^2 de las regresiones entre el par de evaluadores varió de 0.369 a 0.848, con una media de 0.65. Utilizando la escala diagramática, los valores del R^2 variaron entre 0.764 y 0.949, con un valor medio de 0.85 Tabla 2. Al igual que en este estudio, Resende *et al.* (22) y Perina *et al.* (23) precisan que una escala diagramática validada, es una herramienta reproducible para la evaluación visual de una severidad fúngica a nivel foliar. En este sentido, los evaluadores estiman la severidad con precisión respecto a la severidad real, lo que asegura una coherencia entre sus estimaciones (6). En efecto, el uso de escalas diagramáticas mejora la reproducibilidad interevaluadores al aumentar la concordancia en las estimaciones, independientemente de la experiencia del evaluador (24). Sin embargo, con la adopción de escala, el desempeño de evaluadores sin

experiencia mejora hasta el mismo nivel que el de un grupo experimentado (25).

En este sentido, Godoy *et al.* (14) reportaron que el uso de una escala diagramática mejora la repetibilidad de las estimaciones de severidad, ya que tanto evaluadores inexpertos como experimentados obtienen mediciones más consistentes, con menor variabilidad en los errores absolutos y mayor coeficiente de determinación. Según Rojas-Chacón *et al.* (26), la facilidad de su manejo proporciona evaluaciones rápidas y precisas con alta exactitud y reproducibilidad. La escala desarrollada en esta investigación permite una estimación confiable del ojo de gallo en hojas de cafeto, mejorando la uniformidad entre evaluadores. Es decir, la confiabilidad de este instrumento se asocia al grado en que la misma estimación obtenida bajo diferentes condiciones produce resultados similares (13).

Tabla 2. Coeficientes de determinación (R^2) de la ecuación de regresión lineal relacionada con las estimaciones de la severidad del ojo de gallo (*M. citricolor*) en hojas de cafeto entre evaluadores en pares, con y sin escala diagramática.

Evaluadores	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Sin escala									
I	0.588	0.650	0.752	0.821	0.770	0.794	0.781	0.558	0.760
II		0.477	0.369	0.579	0.628	0.697	0.660	0.482	0.626
III			0.580	0.598	0.519	0.656	0.568	0.508	0.448
IV				0.696	0.700	0.696	0.688	0.464	0.562
V					0.848	0.734	0.798	0.587	0.654

Evaluadores	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Sin escala									
VII							0.839	0.591	0.792
VIII								0.597	0.763
IX									0.518
Con escala									
I	0.885	0.919	0.837	0.896	0.901	0.820	0.894	0.838	0.813
II		0.830	0.826	0.848	0.836	0.824	0.930	0.821	0.830
III			0.829	0.898	0.876	0.787	0.871	0.793	0.764
IV				0.840	0.843	0.826	0.833	0.826	0.775
V					0.949	0.799	0.870	0.832	0.825
VI						0.801	0.840	0.867	0.807
VII							0.880	0.825	0.810
VIII								0.842	0.815
IX									0.792

La determinación de parámetros de regresión lineal fue precedente para demostrar la relación entre la severidad foliar real y la estimada, del ojo de gallo en hojas de cafeto. La estimación con escala diagramática y con base en la hipótesis nula ($n_0 = 0$ o $m_1 = 1$), los interceptos n_0 estuvieron cercanos a 0 y los coeficientes angulares m_1 próximos a 1 Tabla 1, aun cuando existe la tendencia a subestimar y sobreestimar estos parámetros de la regresión lineal para la mayoría de los evaluadores. El uso de la escala diagramática de seis niveles para el ojo de gallo permitió estimaciones precisas y exactas (n_0 y m_1) de severidad; además, se redujo los errores absolutos Figura 2. Conjuntamente, los valores mínimos y máximos de los residuos de todos

los evaluadores sin la escala fueron -10% y 62%, respectivamente, mientras que el rango se redujo a -5.6% y 6.4% en el promedio de la estimación con escala Figura 2.

A este respecto Días et al. (27) registraron una reducción en la dispersión de los valores del error absoluto en las estimaciones de severidad con escala, logrando que estas estuvieran más próximas a la línea de error absoluto igual a 0. Del mismo modo, Salgado et al. (28) reportaron reducción de los errores absolutos en las estimaciones de severidad al usar una escala diagramática, en relación con la distribución de errores en las estimaciones obtenidas sin utilizar la escala. En efecto, las diferencias entre las

estimaciones de los evaluadores y los valores reales de severidad en hojas de cafeto son menores (29).

El aumento en la precisión es reflejado en la reducción de los errores absolutos cuando los evaluadores utilizan una escala diagramática de severidad específica al patógeno y patosistema (11). No obstante, el criterio de evaluación de esta

escala fue, con un error absoluto menor al 5%, indica una excelente precisión (9). En este estudio, la evaluación arrojó un promedio de 0.998%, respaldando la exactitud de la estimación al utilizar la escala; esto confirma que la investigación proporciona un instrumento confiable para evaluar la severidad del ojo de gallo en hojas de cafeto.

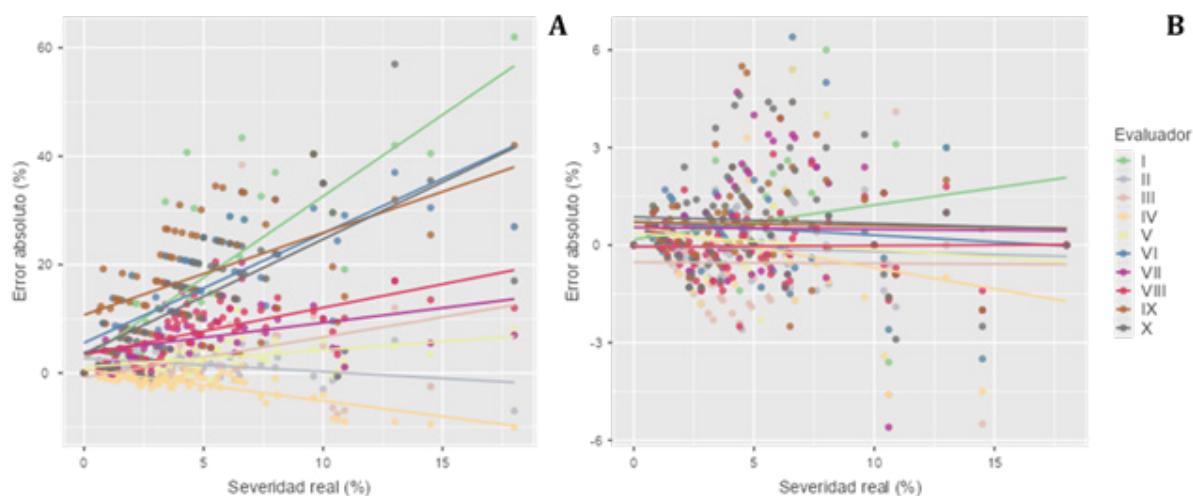


Figura 2. Distribución de residuos (severidad real frente al error absoluto) de las estimaciones de ojo de gallo (*M. citricolor*) en hojas de cafeto. A) Estimación sin escala diagramática. B) Estimación con escala diagramática propuesta.

Escala diagramática para evaluar la severidad del minador (*Leucoptera coffeella*) en hojas de cafeto

La escala diagramática diseñada a nivel foliar tiene cinco imágenes de hojas, con daños

de minador de 0 a 60% Figura 3, con base en el rango de severidades observado que ocurre naturalmente en los cafetales (0 - 61.1%).

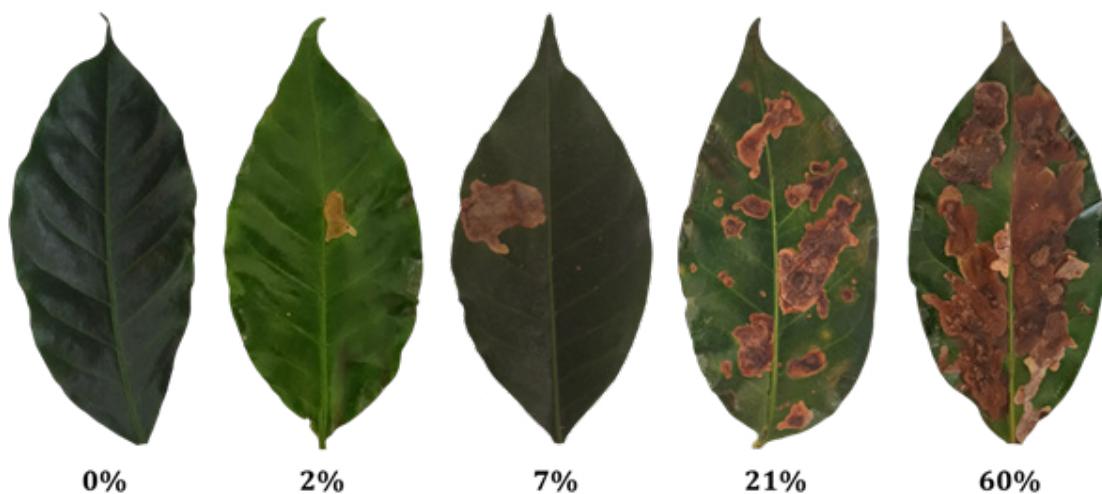


Figura 3. Escala diagramática para evaluar el daño causado por el minador del cafeto (*Leucoptera coffeella*). Los niveles de daño fueron 0%, 2%, 7%, 21% y 60%.

Con la aplicación de la escala diagramática propuesta para el minado de *L. coffeella* en hojas de cafeto, los evaluadores mostraron una buena precisión, con un coeficiente de determinación entre 0.906 y 0.968 con una media de 0.94; sin el uso de la escala, este valor osciló entre 0.707 y 0.937 con una media de 0.86 Tabla 3, indicando que, con el uso de la escala, las estimaciones se relacionaron sistemáticamente con el valor real; como resultado, todos los evaluadores, tuvieron un aumento en el coeficiente de determinación de regresión cuando se utilizó la escala. Resultados que guardan similitud con Alves *et al.* (30), quienes reportaron un R^2 igual a 0.94 para validar la escala diagramática que propusieron e indicaron que, con el uso de esta, las estimaciones se relacionaron sistemáticamente con el valor real. El resultado obtenido del R^2 en este estudio fue mayor al reportado por Barguil *et al.* (31) quienes reportan un

R^2 de hasta 0.93, lo que definió una consistencia en las estimaciones de severidad al utilizar una escala diagramática. Asimismo, fue mayor a los obtenidos por Kłosowski *et al.* (32) quienes reportaron un R^2 igual a 0.89 para evaluadores experimentados y un R^2 igual a 0.93 para evaluadores sin experiencia, y que con estos resultados validaron una escala diagramática.

Los valores de intercepto del 60% de los evaluadores (I, IV, V, VI, VIII y X) difirieron significativamente de cero sin el apoyo de la escala y del 30% (I, VI y X) con el uso de la escala, todas sobreestimaciones. Los valores del coeficiente angular de la recta del 100% de los evaluadores difirieron significativamente de 1, sin y con el uso de la escala diagramática; sin embargo, se redujo la sobre estimación de un 70% (I, III, IV, VI, VII, IX y X) sin uso de escala a un 20% (II y IX) con uso de escala Tabla 3. En este mismo contexto May de

Mio *et al.* (33) reportan que la adopción de una escala de evaluación mejora significativamente la precisión de las mediciones; en su estudio, encontraron que el coeficiente de determinación (R^2) aumentó de 0.26 en las evaluaciones realizadas sin el uso de escala a 0.80 en aquellas en las que se empleó una escala para cuantificar la severidad foliar. En concordancia, Sachs *et al.* (34)

informan que el uso de un tipo de escala mejora la precisión y exactitud de las estimaciones de daño foliar, independientemente de la experiencia del evaluador. Estos argumentos, sugieren que la escala diagramática propuesta es una herramienta que contribuye a la precisión y confiabilidad de la evaluación de la severidad del minador del cafeto.

Tabla 3. Coeficientes de regresión lineal del daño estimado del minador del cafeto (*L. coffeella*) evaluado por 10 evaluadores sin y con la escala diagramática propuesta.

Evaluador	Sin escala			Con escala		
	n_0	m_1	R^2	n_0	m_1	R^2
I	7.86**	1.52**	0.927	2.932**	0.998**	0.968
II	1.595 ^{ns}	0.851**	0.889	0.217 ^{ns}	1.1**	0.956
III	-0.98 ^{ns}	1.858**	0.928	0.759 ^{ns}	0.914**	0.948
IV	-7.07**	1.46**	0.914	-0.429 ^{ns}	0.898**	0.921
V	1.662**	0.088**	0.758	0.962 ^{ns}	0.985**	0.967
VI	7.08**	1.51**	0.887	2.694*	0.94**	0.918
VII	5.59 ^{ns}	1.24**	0.796	1.588 ^{ns}	0.949**	0.906
VIII	5.471*	0.873**	0.707	1.532 ^{ns}	0.923**	0.914
IX	4.27 ^{ns}	1.4**	0.855	-0.355 ^{ns}	1.058**	0.951
X	6.8**	1.34**	0.937	2.934**	0.973**	0.952

*La hipótesis nula considerando $n = 0$ o $m = 1$ fue rechazada según la prueba t ($p < 0.05$)

**Representa resultados altamente significativos con 1% de probabilidad para la prueba t ($p < 0.01$)

^{ns}La hipótesis nula no fue rechazada al nivel del 5%

La comparación de las estimaciones de los evaluadores, por pares, sin el uso de escala diagramática, resultó en valores de R^2 que oscilaron entre 0.472 y 0.951 con una media de 0.754. Con el uso de la escala diagramática propuesta, los valores de R^2 estuvieron entre 0.803 y 0.954 con una media de 0.905 Tabla 4. Para este último,

el 95.56% de las correlaciones cruzadas entre evaluadores arrojaron valores de R^2 superiores al 0.85, lo que confirma la reproducibilidad de las estimaciones utilizando la escala diagramática de cinco niveles de severidad. Resultados hallados para validar la escala diagramática propuesta fueron más relevantes que los reportados por

Crenna *et al.* (35) quienes reportaron valores de R^2 que fluctuaron entre 0.5 y 0.91. En un trabajo relacionado, llevado a cabo por Nicoli y Camargo (36) determinaron que el uso de una escala diagramática mejora significativamente la reproducibilidad de las evaluaciones al reducir la variabilidad entre evaluadores y aumentar la precisión de las estimaciones.

En este contexto, el análisis de regresión lineal puede no detectar desviaciones de la intersección esperada ($n_0 = 0$) y la pendiente ideal ($m_1 = 1$) si los datos presentan una alta dispersión; cuanto mayor sea la variabilidad de los datos, mayor será el error estándar de los coeficientes, lo que reducirá el valor del estadístico t y, en consecuencia, aumentará el p -valor; esto disminuye la probabilidad de rechazar la hipótesis nula, incluso si existen

desviaciones reales; en contraste, si el sistema es altamente reproducible y los datos son muy precisos, los errores estándar serán pequeños, lo que aumentará el valor absoluto del estadístico t y reducirá el p -valor; en este caso, incluso pequeñas desviaciones de los valores teóricos podrían considerarse estadísticamente significativas (37). Ruiz *et al.* (38) demostraron que el uso de una escala logra una alta reproducibilidad al permitir que diferentes evaluadores obtengan resultados consistentes sin depender de la experiencia o entrenamiento lo que refuerza su eficacia y aplicabilidad en evaluaciones objetivas. Estas consideraciones, destacan la utilidad práctica de la escala diagramática propuesta y su potencial para mejorar la precisión y uniformidad en la estimación de lesión foliar por minador del cafeto.

Tabla 4. Coeficientes de determinación (R^2) de la ecuación de regresión lineal relacionada con las estimaciones del daño del minador del cafeto (*L. coffeeella*) entre evaluadores en pares, con y sin escala diagramática.

Evaluadores	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Sin escala									
I	0.862	0.850	0.861	0.730	0.847	0.769	0.645	0.851	0.951
II		0.803	0.838	0.679	0.777	0.811	0.649	0.773	0.871
III			0.834	0.733	0.822	0.750	0.667	0.808	0.893
IV				0.632	0.803	0.785	0.616	0.810	0.856
V					0.729	0.600	0.472	0.725	0.781
VI						0.789	0.595	0.837	0.854
VII							0.603	0.614	0.761
VIII								0.473	0.640
IX									0.866

Evaluadores Con escala	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
I	0.922	0.908	0.916	0.945	0.878	0.894	0.852	0.949	0.939
II		0.951	0.870	0.947	0.901	0.893	0.860	0.954	0.939
III			0.877	0.936	0.935	0.914	0.926	0.931	0.940
IV				0.912	0.803	0.873	0.838	0.938	0.897
V					0.874	0.883	0.907	0.954	0.942
VI						0.918	0.876	0.873	0.905
VII							0.880	0.918	0.884
VIII								0.855	0.864
IX									0.939

*La hipótesis nula considerando $n = 0$ o $m = 1$ fue rechazada según la prueba t ($p < 0.05$)

**Representa resultados altamente significativos con 1% de probabilidad para la prueba t ($p < 0.01$)

^{ns}La hipótesis nula no fue rechazada al nivel del 5%

Complementariamente, la precisión de la escala diagramática propuesta se evaluó a través del cálculo de errores absolutos (diferencia entre la estimación visual del daño y el daño real); como resultado, la distribución aleatoria de los errores residuales en torno a la línea de predicción indica una mejora del ajuste del modelo Figura 4. En este sentido, la ausencia de patrones sistemáticos en los errores absolutos, junto con su magnitud reducida, indica una mejora en la precisión de la escala para evaluar la severidad de minas de *Leucoptera coffeella* (36). No obstante, los valores mínimos y máximos de los residuos de todos los evaluadores sin la escala fueron -53% y 55.2%, respectivamente, mientras que el rango se redujo a -14.2% y 14.1% en el promedio de la estimación con escala Figura 4. Del mismo modo, Monteiro *et al.* (39) demostraron que el uso de una escala diagramática mejora la precisión de

las evaluaciones, reduciendo la variabilidad de los errores y aumentando la capacidad de explicación del modelo.

El uso de una escala diagramática reduce la magnitud de las desviaciones en la estimación de la severidad de daño foliar, lo que mejora significativamente la precisión, evidenciando la eficiencia de la escala en la cuantificación del minado foliar (40, 41). En un trabajo similar realizado por Lenz *et al.* (42) determinaron que uso de una escala diagramática no solo mejoró la exactitud de las estimaciones individuales, sino que también promovió una mayor uniformidad entre los evaluadores al reducir sesgos en la medición. En este contexto, se resalta la utilidad de esta escala diagramática para la evaluación de este tipo de lesión insectil a nivel foliar ya que mejora la confiabilidad de la evaluación.

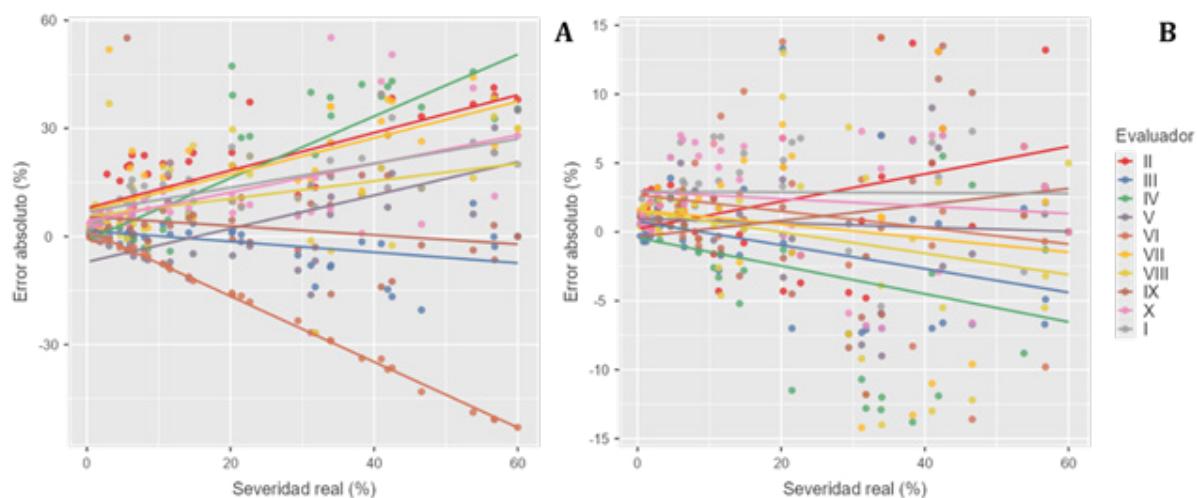


Figura 4. Distribución de residuos (daño real frente al error absoluto) de las estimaciones del minador del cafeto (*L. coffeella*). A) Estimación sin escala diagramática. B) Estimación con escala diagramática propuesta.

CONCLUSIONES

Se desarrolló dos escalas diagramáticas para evaluar la severidad de daño fúngico e insectil en hojas de cafeto. La escala para evaluar la severidad de ojo de gallo del cafeto con base en rangos de distribución de frecuencias de valores de severidad, proporciona mejores niveles de exactitud, precisión y reproducibilidad de las evaluaciones. La escala para ayudar a cuantificar la severidad de minador del cafeto, proporciona mejores niveles de exactitud, precisión y reproducibilidad en las evaluaciones realizadas por los evaluadores que la utilizaron. Por lo tanto, se proporciona dos herramientas útiles para investigaciones relacionadas con estas plagas.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pino-Miranda E, Ramírez-Dávila J, Serrato-Cuevas R, Mejía-Carranza J, Tapia-Rodríguez A. Spatial and temporal distribution of ojo de gallo (*Mycena citricolor*) in coffee plantations of the state of México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 2022; 40(3): 433-446. <http://dx.doi.org/10.18781/R. MEX.FIT.2204-2>
2. Granados-Montero MM, Avelino J, Arauz-Cavallini F, Castro-Tanzi S, Ureña N. Leaf litter and *Mycena citricolor* inoculum on the American leaf spot epidemic. *Agronomía Mesoamericana*. 2020; 31(1): 77-94. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36614>
3. Motta I, Dantas J, Vidal L, Bílio J, Pujol-Luz J, Albuquerque É. The coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae): identification of the larval instars and description of male and female genitalia. *Revista Brasileira de Entomologia*. 2021; 65(3): e20200122. <https://doi.org/10.1590/1806-9665-RBENT-2020-0122>
4. da Silva K, Malaquias M, Faria R, dos Santos V, Fernandes F. Spatial and dynamic distribution of *Chrysoperla* spp. and *Leucoptera coffeella*

- populations in coffee *Coffea arabica* L. Precision Agriculture. 2024; 25: 327-346. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10070-4>
- 5.** Ramírez D, García F. Manejo del minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) en el cultivo de café en Costa Rica. Agronomía Costarricense. 2021; 45(2): <https://doi.org/10.15517/rac.v45i2.47775>
- 6.** Vieira R, Mesquini R, Silva C, Hata F, Tessmann D, Scapim C. A new diagrammatic scale for the assessment of northern corn leaf blight. Crop Protection. 2014; 56: 55-57. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.04.018>
- 7.** Patricio-Hernández A, Mercado-Flores Y, Téllez-Jurado A, Ramírez-Vargas D, Quezada-Salinas A. Diagrammatic scale to evaluate the severity of gray mold (*Botrytis cinerea*) in pomegranate. Revista Mexicana de Fitopatología. 2023; 41(3): 524-530. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2302-9>
- 8.** López-Reyes E, Castañeda-Vildózola Á, Sánchez-Pale J, Contreras-Rendón A, Fragoso-Benhumea JM, García R. Escala diagramática para cuantificar la severidad de mancha café en el cultivo de haba. Revista Mexicana de Fitopatología. 2023; 42: 1-8. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2209-4>
- 9.** Ortega-Acosta S, Velasco-Cruz C, Hernández-Morales J, Ochoa-Martínez D, Hernández-Ruiz J. Diagrammatic logarithmic scales for assess the severity of spotted leaves and calyces of roselle. Revista Mexicana de Fitopatología. 2016; 34(3): 270-285. <http://dx.doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1606-6>
- 10.** Braga K, Fantin L, Roy M, Canteri M, de Paiva A. Development and validation of a diagrammatic scale for the assessment of the severity of bacterial leaf streak of corn. European Journal of Plant Pathology. 2020; 157(2): 367-375. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02008-7>
- 11.** Debona D, Nascimento J, Rezende D, Rios J, Bernardeli M, Silva L, Rodrigues F. A set of standard area diagrams to assess severity of frogeye leaf spot on soybean. European Journal of Plant Pathology. 2015; 142: 603-614. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0638-3>
- 12.** Lavilla M, Ivancovich A, Díaz-Paleo A. Diagrammatic scale for assessment the severity of Cercospora leaf blight on soybean (*Glycine max*) leaflets. Agronomía Mesoamericana. 2021; 33(1): 43338. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.43338>
- 13.** Costa D, Marouelli W, da SS Duarte H, Café-Filho A. Standard area diagrams for assessment of powdery mildew severity on tomato leaves and leaflets. Crop Protection. 2015; 67: 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.014>
- 14.** Godoy C, Koga L, Canteri M. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. Fitopatología Brasileira. 2006; 31: 63-68. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582006000100011>
- 15.** Fragoso-Benhumea J, Sánchez-Pale J, Castañeda-Vildózola Á, Franco-Mora O, Gutiérrez-Ibáñez A, Contreras-Rendón A, García-Velasco R. Diagrammatic scale for rust severity assessment in broad bean (*Vicia faba*). Revista Mexicana de Fitopatología. 2022; 40(3): 474-482. <http://dx.doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-2>
- 16.** Horsfall J, Cowling E. Pathometry: the measurement of plant disease. En JG Horsfall y EB Cowling (Eds.), Plant disease an advanced treatise: Vol. II. How disease develops in populations 119-136. Academic Press; 1978. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-356402-3.50014-1>
- 17.** Custódio A, Pozza E, Guimarães D, Koshikumo É, Hoyos M, Souza E. Comparison and validation of diagrammatic scales for brown eye spots in coffee tree leaves. Ciência e Agrotecnologia. 2011; 35: 1067-1076. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600005>
- 18.** Belan L, Belan L, da Matta R, Gomes A, Alves F, de Jesus J, Moraes W. Standard area diagram with color photographs to estimate the severity of coffee leaf rust in *Coffea canephora*. Crop Protection. 2020; 130: 105077. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105077>
- 19.** Freitas L, Pozza A, Belan L, Silva J, Abreu M. Diagrammatic scale for blister spot in leaves of coffee tree. African Journal of Agricultural Research. 2015; 10(19): 2068-2075. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9465>
- 20.** Lorenzetti E, Tartaro J, Alves Neto A, Heling A, Carvalho J, Stangarlin J, Kuhn O, Portz R. Development and validation of a diagrammatic

- scale for quantifying maize leaf spots caused by *Diplodia macrospora*. *Semina: Ciências Agrárias*. 2019; 40(6): 2475–2486. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6p2475>
- 21.** Francelino H, Vivas M, Moraes R, Saluci C, Vivas M, Cruz D, Gravina G, Silveira S. Diagrammatic scale for the quantification of black spot severity in papaya leaves. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2023; 45(1): e60970. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.60970>
- 22.** Resende L, Pozza E, Pereira C, Botrel É, Roteli D, Oliveira J. Proposed diagrammatic scale to assess heat injury in coffee seedling canopy. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2023; 45: e58614. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.58614>
- 23.** Perina F, Belan L, Moreira S, Nery E, Alves E, Pozza E. Diagrammatic scale for assessment of alternaria brown spot severity on tangerine leaves. *Journal of Plant Pathology*. 2019; 101: 981-990. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00306-6>
- 24.** Miranda Y, Rincón L, Garzón L. Diagrammatic scales for the estimation of black node disease severity in common bean. *Ciência Rural*. 2021; 51: e20200347. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200347>
- 25.** Lage A, Marouelli W, da SS Duarte H, Café-Filho A. Standard area diagrams for assessment of powdery mildew severity on tomato leaves and leaflets. *Crop Protection*. 2015; 67: 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.014>
- 26.** Rojas-Chacón J, Echeverría-Beirute F, Till B, Gatica-Arias A. Assessment of *Hemileia vastatrix* resistance in chemically mutagenized *Coffea arabica* L. leaf discs and the emergence of a novel resistance scale. *Journal of Plant Pathology*. 2024; 106: 1093-1106. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01620-4>
- 27.** Días M, Ribeiro R, Barbosa M, de Jesus J, Spósito M. Diagrammatic scale for improved late leaf rust severity assessments in raspberry leaves. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2023; 45(2): 140-147. <https://doi.org/10.1080/07060661.2022.2147587>
- 28.** Salgado M, Pozza E, Lima M, Pereira R, Pfenning L. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha de *Phoma* do cafeeiro. *Tropical Plant Pathology*. 2009; 34: 422-427. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762009000600010>
- 29.** Figueiredo Y, Oliveira J, Almeida K, de Fátima P, Pedroso L, de Resende M, Moreira M, Pozza E. Coffee leaf rust assessment: comparison and validation of diagrammatic scales for *Coffea arabica*. *European Journal of Plant Pathology*. 2022; 164(3): 411-427. <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02570-2>
- 30.** Alves C, Santos L, Duarte S, Dias V, Zambolim L, Rocha M. Escala diagramática para quantificação da ferrugem da folha do trigo. *Multi-Science Journal*. 2015; 1(1): 128-133. <https://doi.org/10.33837/msj.v1i1.59>
- 31.** Barguil B, Albert C, Michereff S, de Oliveira M. Escala diagramática para avaliação da severidade da antracnose em bastão do imperador. *Ciência Rural*. 2008; 38(3): 261-267. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000300034>
- 32.** Kłosowski A, Ruaro L, Filho C, Mio L. Proposta e validação de escala para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. *Tropical Plant Pathology*. 2013; 38(2): 166-171. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762013000200012>
- 33.** May de Mio L, Oliveira R, Mayer A, Schuber J, Poltronieri A, Araujo M, Tratch R. Proposta de escala diagramática para quantificação da cercosporiose da beterraba. *Scientia Agraria*. 2008; 9(3): 331-337. <https://doi.org/10.5380/rsa.v9i3.11524>
- 34.** Sachs J, Neves C, Canteri M, Sachs L. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha branca em milho. *Summa Phytopathologica*. 2011; 37(4): 202-204. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000400007>
- 35.** Crenna A, Oddino C, Giordano D, Giuggia J, Giovanini D. Diagrammatic scale to quantify the damage caused by bean thrips to the peanut crop. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2023; 58: e03006. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03006>
- 36.** Nicoli A, Camargo E. Validação de escala diagramática para quantificação da severidade da antracnose do colmo do milho. *Ciência Rural*. 2015; 45(10): 1720-1726. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141510>

- 37.** Lin L. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 1989; 45(1): 255-268. <https://doi.org/10.2307/2532051>
- 38.** Ruiz M, Pieri C, Pieroni L, Porcena A, Albuquerque F, Furtado E. Escala diagramática para avaliação da severidade de oídio em eucalipto. *Ciência Florestal*. 2021; 31(3): 1535-1546. <https://doi.org/10.5902/1980509840568>
- 39.** Monteiro F, Costa da Silva W, Pereira I, Brainer R, Michereff S, de Andrade GS. Análise de escala diagramática para avaliação da severidade da antracnose das vagens de feijão-fava. *Revista Ciência Agrícola*. 2017; 15(1): 43-51. <https://doi.org/10.28998/rca.v15i1.2677>
- 40.** Soares R, Godoy C, de Oliveira C. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha alvo da soja. *Tropical Plant Pathology*. 2009; 34(5): 333-338. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762009000500007>
- 41.** Citadin I, Assmann A, Mazaro S, de Gouvêa A, Danner M, Malagi G. Escala diagramática para avaliação da severidade de bacteriose em pessegueiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2008; 30(2): 327-330. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000200010>
- 42.** Lenz G, da Costa I, Balardin R, Marques L, Arrué A, Silva Stefanelo M, Rejane Zemolin C. Elaboração e validação de escala diagramática para quantificação da mancha de isariopsis da videira. *Ciência Rural*. 2009; 39: 2301-2308. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000800005>