



Diseño y validación de una escala diagramática para evaluar la severidad del mildiú del pepino

Juan Carlos Gonzalez-Acevedo¹, Santiago Domínguez-Monge^{2*}, Dagoberto Guillen-Sánchez^{1†}, Víctor López-Martínez¹, Porfirio Juárez-López¹, Irán Alia-Tejaca¹, Julio David Mendoza-García³. ¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad No. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62209, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, INIFAP – Campo Experimental Ixtacuaco. Carretera Martínez de la Torre – Tlapacoyan Km. 4.5, Cong. Javier Rojo Gómez, Tlapacoyan, Veracruz, C. P. 93655, México. ³Maestría en Ciencias en Protección Vegetal. Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Texcoco, Estado México, C. P. 56230, México.

*Autor de correspondencia:
Santiago Domínguez-Monge
dominguez.santiago@inifap.go
b.mx

Sección:
Edición periódica

Recibido:
05 Enero, 2026
Aceptado:
18 Febrero, 2026
Publicado:
06 Marzo, 2026

Cita:
González-Acevedo JC,
Domínguez-Monge S, Guillén-
Sánchez D[†], Martínez-López
V, Juárez-López P, et al. 2026.
Diseño y validación de una
escala diagramática para
evaluar la severidad del mildiú
del pepino. Revista Mexicana
de Fitopatología 44(2): 117.
<https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2601-1>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. El mildiú del pepino (*Cucumis sativus*), causado por *Pseudoperonospora cubensis*, es una de las principales enfermedades foliares que afectan la producción de pepino en Morelos, México. Debido a la ausencia de métodos estandarizados y validados para la cuantificación de la severidad de esta enfermedad, el objetivo de este estudio fue diseñar y validar una escala diagramática para su evaluación.

Desarrollo experimental. Se desarrolló una escala diagramática compuesta por ocho niveles de severidad (2, 4, 8, 16, 24, 32, 40 y 47 % de área foliar afectada), a partir de hojas naturalmente infectadas cuya severidad real fue determinada mediante análisis digital de imágenes con el software Assess[®]. La validación de la escala se realizó con la participación de 20 evaluadores, quienes estimaron visualmente la severidad de 50 hojas con diferentes niveles de daño en tres evaluaciones sucesivas: una sin ayuda de la escala (SA) y dos con ayuda de la escala, realizadas a las dos (CA1) y cuatro semanas (CA2) posteriores a la primera evaluación.

Resultados. El uso de la escala diagramática incrementó significativamente la precisión de las estimaciones de severidad, con coeficientes de correlación de Pearson de $r = 0.91$ y $r = 0.93$ en CA1 y CA2, respectivamente, en comparación con la evaluación sin escala ($r = 0.34$). Asimismo, el sesgo generalizado fue menor cuando se utilizó la escala ($C_b > 0.9$), lo que se reflejó en una mayor concordancia general entre las estimaciones visuales y los valores reales de severidad ($\rho_c > 0.9$).

Conclusión. La escala diagramática desarrollada es una herramienta confiable, precisa y reproducible para la estimación de la severidad del mildiú en pepino bajo condiciones de campo.

Palabras clave: *Cucumis sativus*, Mildiú, Enfermedad foliar, Fitopatometría, Severidad



INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus*) es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia económica a nivel mundial, tanto por su amplia distribución como por su valor en los sistemas de producción intensiva. En México, su producción se ha intensificado de manera significativa bajo condiciones de campo abierto y agricultura protegida, lo que ha incrementado la incidencia de enfermedades asociadas a ambientes de alta humedad y temperatura (Naegele y Wehner, 2017).

Los principales problemas fitosanitarios destacan los géneros *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Colletotrichum*, *Alternaria*, *Fusarium* y *Pseudoperonospora* (Almándoiz *et al.*, 2016; Ramezani *et al.*, 2017). Estas enfermedades representan una limitante importante para la productividad, particularmente en sistemas de producción protegida, donde las condiciones ambientales favorecen su desarrollo (Alhasnawi *et al.*, 2020). El mildiu, causado por *Pseudoperonospora cubensis* (Peronosporales: Peronosporaceae), es una de las enfermedades foliares más destructivas del cultivo de pepino. El patógeno infecta cotiledones y hojas verdaderas, provocando clorosis, necrosis y defoliación prematura, lo que reduce el área fotosintética y afecta directamente el rendimiento (Cohen *et al.*, 2015; Salcedo *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2022). Su desarrollo se ve favorecido por condiciones de alta humedad relativa (> 85 %) y temperaturas moderadas (15-22 °C), comunes durante el periodo de lluvias en diversas regiones productoras de México como Sinaloa, Sonora y Nayarit (Cristóbal *et al.*, 2006; Ruiz *et al.*, 2008; Pouzeshimiyab y Fani, 2020). Además, se ha demostrado la capacidad del patógeno para transmitirse a través de semillas y frutos, lo que incrementa el riesgo de dispersión y establecimiento en nuevas áreas de producción (Cohen *et al.*, 2014; Cohen *et al.*, 2019; Félix-Gastélum *et al.*, 2023; Hammer *et al.*, 2025).

El manejo eficaz del mildiu de las cucurbitáceas requiere una adecuada comprensión de su dinámica epidémica, para lo cual es indispensable el monitoreo sistemático de parámetros como la incidencia y severidad de la enfermedad. En particular, la cuantificación de la severidad permite estimar el grado de daño ocasionado por el patógeno y evaluar la efectividad de las estrategias de manejo implementadas (Nutter *et al.*, 1991; Silva *et al.*, 2016).

La patometría, como disciplina de la Fitopatología, se encarga de la estimación cuantitativa y cualitativa de las enfermedades en condiciones de campo (Vivas *et al.*, 2012). En este contexto, las escalas diagramáticas constituyen una herramienta fundamental para la evaluación visual de la severidad (Bock *et al.*, 2010), ya que permiten estandarizar las estimaciones entre evaluadores y reducir la subjetividad inherente a este tipo de mediciones (Meirelles y Cardoso, 2012; Alves *et al.*, 2015; Bock *et al.*, 2016). El desarrollo de escalas diagramáticas confiables se ha visto favorecido por el avance de tecnologías digitales y sistemas computacionales (Bock *et al.*, 2010; Bock *et al.*, 2021), lo que ha permitido mejorar la precisión y exactitud de las evaluaciones de severidad en diversos patosistemas (Meirelles y Cardoso, 2012; Pereira *et al.*, 2020). No obstante, el uso de estas herramientas implica un alto grado de responsabilidad metodológica, ya que escalas deficientes pueden generar errores significativos en la toma de decisiones fitosanitarias (Cristiane-Delmadi *et al.*, 2018; Bock *et al.*, 2020). Por ello, las escalas diagramáticas deben ser sometidas a procesos de validación que garanticen su utilidad y reproducibilidad (Capucho *et al.*, 2011; Del Ponte *et al.*, 2022).

A pesar de la presencia del mildiu en las cucurbitáceas, la evaluación de la severidad causada por *P. cubensis* en el cultivo de pepino continúa presentando limitaciones, debido

a la ausencia de escalas diagramáticas específicas y validadas bajo condiciones edafoclimáticas locales. En particular, para Morelos, México, no se dispone de herramientas estandarizadas que permitan cuantificar de manera precisa la severidad de esta enfermedad foliar. Por lo anterior, el objetivo fue desarrollar y validar una escala diagramática para estimar la severidad del mildiu del pepino causado por *Pseudoperonospora cubensis*.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Sitio de estudio y material vegetal. Se colectaron 150 hojas de pepino con distintos niveles de severidad de mildiú durante los meses de septiembre y octubre del 2019. El muestreo se realizó en plantaciones comerciales de pepino (var. Naolin) establecidas a campo abierto en dos localidades de Morelos que fueron Los Girasoles, municipio de Cuautla (18°50'58.7" N, 98°55'31.1" O; 1,397 m.s.n.m.) y Nacatongo, municipio de Tlayacapan (18°56'21.4" N, 98°58'39.3" O; 1,543 m.s.n.m.). Las hojas fueron seleccionadas de manera que representaran un amplio rango de severidad de la enfermedad y se utilizaron para el diseño y construcción de la escala diagramática.

Adquisición y análisis de imágenes. Las 150 hojas seleccionadas fueron fotografiadas individualmente por el haz, utilizando la cámara de un teléfono celular Huawei Mate® 20 Pro (40 megapíxeles). Las imágenes se capturaron bajo condiciones controladas, con fondo de tela azul, a una distancia fija de 30 cm entre la cámara y la hoja, montado sobre un tripié a una altura de 50 cm, siguiendo lo propuesto por Del Ponte *et al.* (2017). El porcentaje de área foliar afectada se determinó mediante un análisis digital de imágenes utilizando el software Asses® v2.0 (The American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA). Se empleó el modelo automático de color basado en intensidad, saturación y tono (HSI, por sus siglas en inglés) para delimitar el área total de la hoja y el área sintomática, a partir de lo cual el programa calculó el porcentaje de severidad para cada imagen (Del Ponte *et al.*, 2017).

Determinación de clases y diseño de la escala diagramática. El número de clases de la escala diagramática se estableció de acuerdo con los criterios sugeridos por Del Ponte *et al.* (2017), considerando un mínimo de seis y un máximo de 10 clases, con intervalos de severidad no mayores a 15 % y distribuidos de manera aproximadamente lineal, tomando como referencia el nivel máximo de severidad observado en campo. Los valores mínimo y máximo de severidad registrados durante el muestreo se utilizaron como límites inferior y superior de la escala. A partir de estos valores se definieron seis clases intermedias, con intervalos de severidad que variaron entre 2 y 8 %. Los diagramas correspondientes a cada clase se diseñaron de forma realista, utilizando un esquema base de una hoja de pepino. Las lesiones se incorporaron manualmente, respetando la forma, tamaño y patrón de distribución observados en hojas reales, hasta alcanzar el valor de severidad definido para cada clase (Del Ponte *et al.*, 2017).

Validación de la escala diagramática. Para validar la escala, se utilizaron 50 imágenes de hojas enfermas, cuya severidad real (2 a 47 %) había sido previamente determinada mediante análisis de imágenes, pero desconocida para los evaluadores. Las imágenes se proyectaron en diapositivas individuales en PowerPoint, en una secuencia aleatoria, con un tiempo de exposición de 30 s por imagen. Se seleccionaron 20 evaluadores sin experiencia previa en la estimación de la severidad de enfermedades y, antes de iniciar las evaluaciones,

se proporcionaron instrucciones a los participantes para el reconocimiento de los síntomas de la enfermedad y el procedimiento de evaluación de severidad. Cada evaluador asignó un valor de severidad expresado en porcentaje (0-100 %).

La validación se realizó en tres evaluaciones consecutivas. En la primera, los participantes estimaron la severidad de las 50 imágenes sin la ayuda (SA) de la escala diagramática, registrando sus valores en una hoja numerada del uno al 50. Quince días después, se efectuó una segunda evaluación, en la cual los participantes estimaron la severidad de las mismas imágenes, esta vez con ayuda (CA1) de la escala diagramática desarrollada. Posteriormente, tras un intervalo adicional de dos semanas, se realizó una tercera evaluación, también con la ayuda (CA2) de la escala. Las condiciones de proyección y evaluación fueron las mismas en las tres evaluaciones, con el fin de minimizar posibles efectos de distracción o sesgo. En todas las evaluaciones participaron los mismos 20 evaluadores. Los datos obtenidos se organizaron en una base de datos en Microsoft Office Excel 2016 para su análisis estadístico (Del Ponte *et al.*, 2017).

Análisis estadísticos. Para evaluar el efecto del uso de la escala diagramática sobre la precisión y exactitud de las estimaciones de severidad, se calculó para cada evaluador el coeficiente de correlación de concordancia de Lin (ρ_c) (Lin, 1989). Este coeficiente proporciona una media general de concordancia o exactitud, considerando tanto la precisión (coeficiente de correlación de Pearson, r) como el parámetro de sesgo generalizado (C_b), un coeficiente calculado a partir del sesgo sistemático (v) y el sesgo constante (μ) (Madden *et al.*, 2007). Se utilizó un modelo lineal generalizado para probar la hipótesis de que las medias de los coeficientes de concordancia no diferían significativamente entre las tres evaluaciones secuenciales. La significancia de los efectos fijos se evaluó mediante una prueba de Bartlett, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ ($P > \chi^2$). Adicionalmente, la reproducibilidad entre evaluadores se determinó mediante el coeficiente de determinación (R^2), de acuerdo con Nutter y Schultz (1995). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R (R Core Team, 2016) y SAS 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Determinación de la severidad y definición de clases de la escala diagramática. Los valores reales de severidad del mildiú causados por *Pseudoperonospora cubensis* en hojas de pepino, determinados mediante análisis digital de imagen, variaron entre 2 y 47 %, correspondientes a los niveles mínimo y máximo de daño foliar observados durante el muestreo en campo. Con base en este intervalo, se definieron ocho clases de severidad, representadas por los siguientes porcentajes: 2, 4, 8, 16, 24, 32, 40 y 47 %. Cada clase fue ilustrada mediante un diagrama que representa visualmente el patrón y distribución del daño foliar característico de cada nivel de severidad. Los diagramas finales de la escala se presentan en blanco (Figura 1).

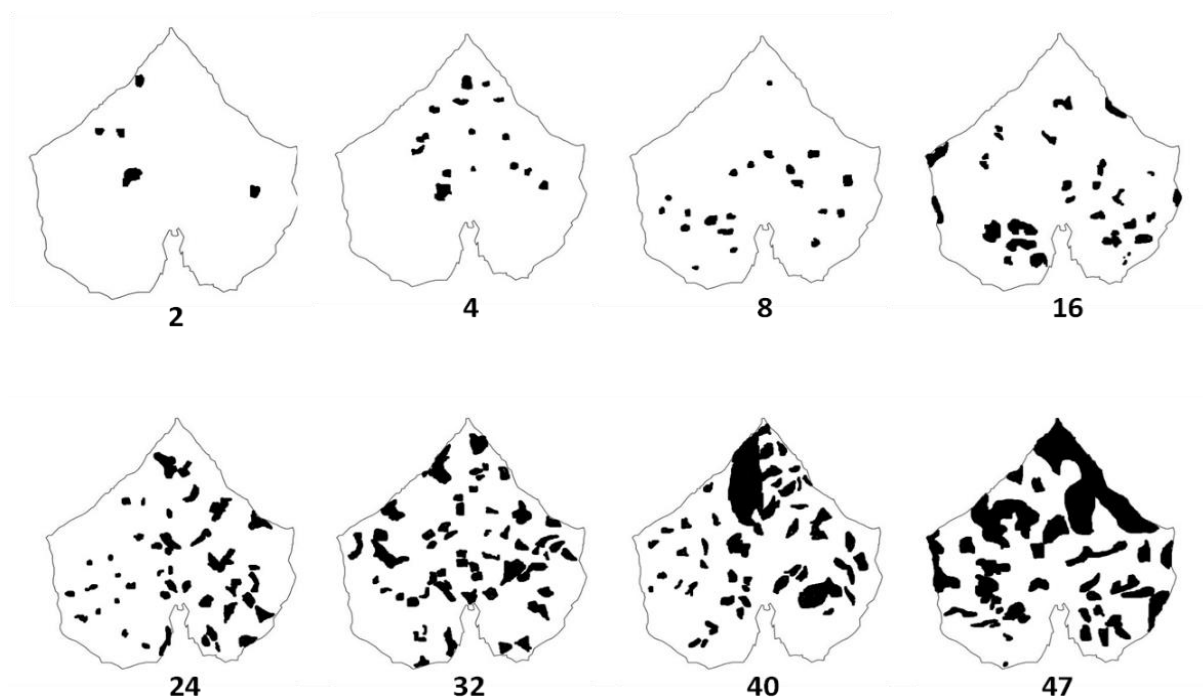


Figura 1. Escala diseñada para la severidad del mildiu por *Pseudoperonospora cubensis* en hojas de pepino. Los números en los diagramas representan el porcentaje (%) del área de la hoja con síntomas necróticos de la enfermedad.

Relación entre la severidad real y severidad evaluada. Las estimaciones de severidad obtenidas durante las evaluaciones realizadas, con el uso de la escala diagramática, mostraron una mayor concordancia con los valores reales de severidad determinados mediante análisis digital de imágenes, en comparación con las evaluaciones realizadas sin el uso de la escala. Esta relación se observa en los diagramas de dispersión que comparan la severidad estimada frente a la severidad real para cada evaluación (Figura 2).

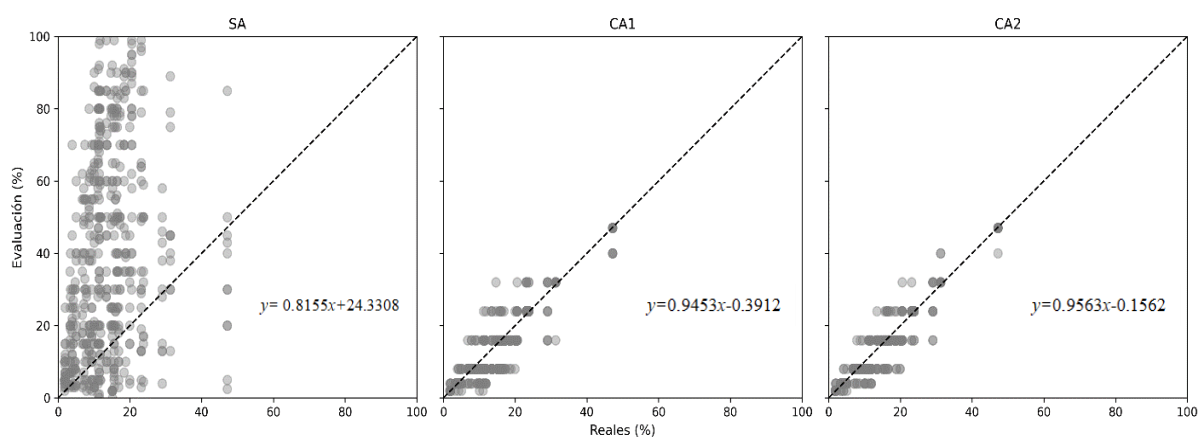


Figura 2. Relación entre la severidad real y severidad estimada del mildiu (*Pseudoperonospora cubensis*) por 20 evaluadores sin experiencia, a partir de un conjunto de 50 hojas evaluadas (n=1 000). La primera evaluación se realizó sin ayuda de la escala diagramática (SA), seguida de dos evaluaciones adicionales realizadas a las dos (CA1) y cuatro semanas (CA2) posteriores, utilizando una escala diagramática que representa niveles de severidad de 2 a 47 % del área foliar afectada. La línea discontinua indica la línea de concordancia ($y = x$).

Cuando la severidad fue evaluada sin ayuda de la escala diagramática, se registró una alta dispersión de los datos, reflejada en un bajo coeficiente de determinación ($R^2=0.13$), lo que indica una baja precisión en la estimación visual de la severidad. En contraste, al emplear la escala diagramática diseñada (intervalo de 2 a 47 % de área afectada), las estimaciones de severidad mostraron una relación estrecha y consistente con los valores reales tanto en la evaluación realizada dos semanas después de la primera evaluación (CA1; $R^2=0.93$), así como en la realizada cuatro semanas después (CA2; $R^2=0.94$). Estos resultados evidencian que el uso de la escala diagramática incrementa de manera significativa la precisión y confiabilidad de las evaluaciones de severidad del mildiu, reduciendo la subjetividad asociada a la estimación visual. La mejora observada coincide con lo reportado en estudios previos, donde el uso de escalas diagramáticas validadas permite una evaluación de enfermedades foliares más objetiva y reproducible (Mora-Aguilera, 2013; Flores-Sánchez *et al.*, 2025).

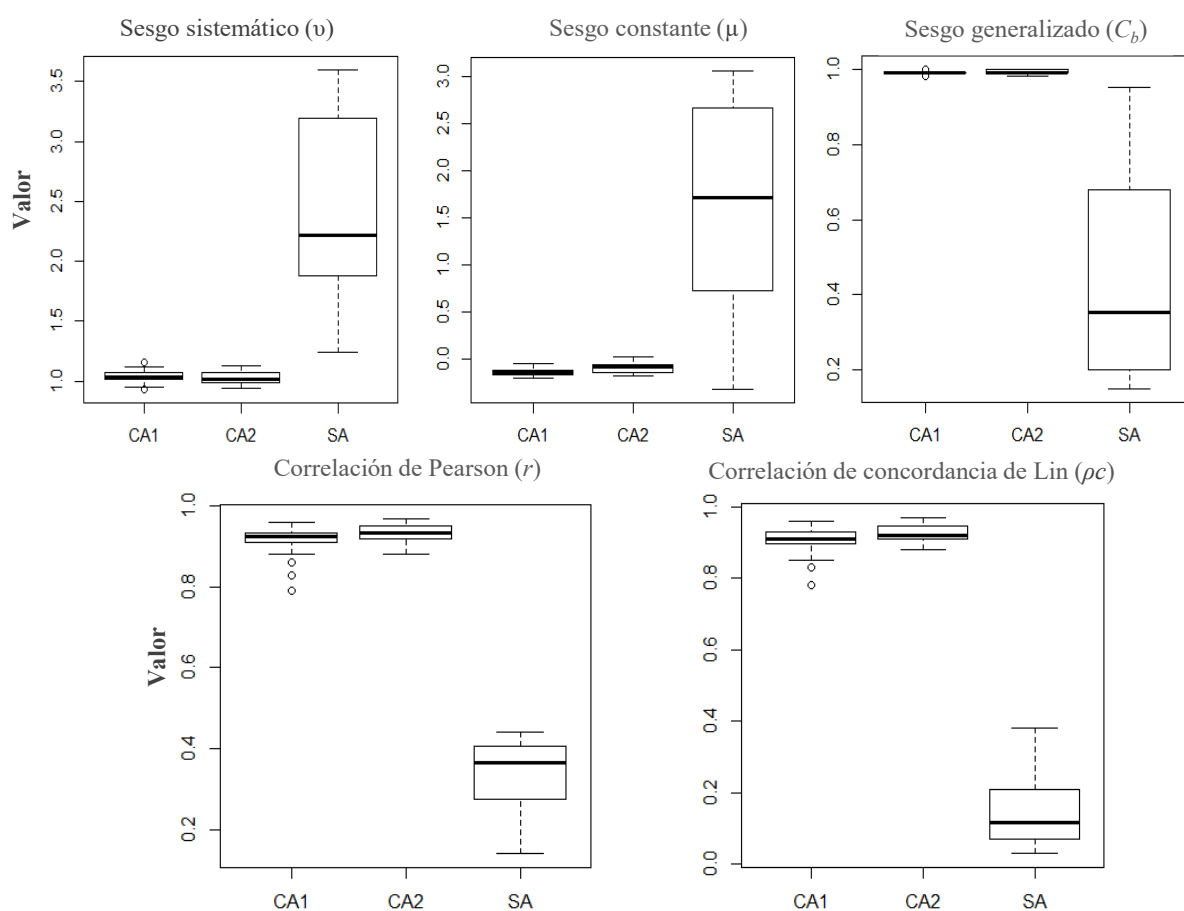


Figura 3. Distribución, media y desviación estándar de los estadísticos del análisis de concordancia de Lin utilizados para evaluar la exactitud (sesgo sistemático y constante), la precisión (coeficiente de correlación de Pearson, r) y la concordancia general (coeficiente de concordancia de Lin, ρ_c) de las estimaciones de severidad del mildiu (*Pseudoperonospora cubensis*) realizadas por 20 evaluadores sin experiencia en tres evaluaciones sucesivas. La primera evaluación se realizó sin ayuda de la escala (SA), seguida de dos evaluaciones con la ayuda de la escala realizadas a las dos (CA1) y cuatro semanas (CA2) posteriores a la evaluación inicial.

Exactitud, precisión y concordancia de las estimaciones de severidad. Las comparaciones de exactitud entre evaluadores, analizadas a través de los parámetros de sesgo sistemático (v) y sesgo constante (μ), mostraron una amplia variación en las estimaciones de severidad durante la evaluación sin el uso de la escala diagramática. No

obstante, esta variabilidad disminuyó de manera progresiva durante la segunda y tercera sesión de evaluación, cuando los evaluadores utilizaron la escala diseñada, tendiendo a valores cercanos a los de referencia, es decir, ausencia de sesgo sistemático ($v = 1$) y de sesgo constante ($\mu = 0$) (Figura 3).

Desde el punto de vista estadístico, tanto el sesgo constante (μ) como el sesgo sistemático (v) registrados en las dos evaluaciones realizadas con ayuda de la escala diagramática, difirieron significativamente de los obtenidos en la evaluación inicial sin ayuda, lo cual se atribuye a la baja precisión observada en esta última ($C_b = 0.35$) (Figura 3). En contraste, la precisión de las estimaciones mejoró de manera notable cuando se utilizó la escala diagramática, alcanzando coeficientes de correlación elevados en ambas evaluaciones con ayuda de la escala diagramática ($r > 0.9$), en comparación con la evaluación sin escala ($r = 0.35$).

Como consecuencia directa de esta mejora en la precisión, la concordancia general entre las estimaciones y los valores reales de severidad, expresada mediante el coeficiente de concordancia de Lin (ρ_c), se incrementó significativamente durante las evaluaciones realizadas con ayuda de la escala diagramática. En particular, se registraron valores de ρ_c superiores a 0.9 tanto en CA1 como en CA2, en contraste con la sesión inicial SA (Cuadro 1). Estos resultados demuestran que la estimación visual de la severidad del mildiú en pepino es considerablemente más precisa, exacta y concordante cuando se emplea la escala diagramática diseñada en este estudio, confirmando su utilidad como herramienta fitopatológica similar con otros estudios (Leiva *et al.*, 2010; Savory *et al.*, 2011; Zavala y Cristóbal, 2012; Mora-Aguilera, 2013; Belan *et al.*, 2014; Correia *et al.*, 2017; Acco *et al.*, 2020; Flores-Sánchez *et al.*, 2025).

Cuadro 1. Análisis del modelo lineal generalizado y separación de medias de los estadísticos del análisis de concordancia de Lin utilizados para evaluar la exactitud (sesgo sistemático y constante), precisión (coeficiente de correlación de Pearson, r) y concordancia general (coeficiente de concordancia de Lin, ρ_c) de las estimaciones porcentuales de la severidad del mildiú (*Pseudoperonospora cubensis*) en pepino, realizadas por 20 evaluadores sin experiencia en tres evaluaciones sucesivas: sin ayuda de la escala diagramática (SA) y con ayuda de la escala a las dos (CA1) y cuatro semanas (CA2) posteriores a la evaluación inicial.

Evaluación	v^b	μ^c	C_b^d	r^e	P_c^f
SA	1.57 a ^a	2.40 a	0.46 b	0.34 b	0.15 b
CA1	-0.13 b	1.04 b	0.99 a	0.91 a	0.90 a
CA2	-0.09 b	1.02 b	0.99 a	0.93 a	0.93 a
χ^2^g (P-value)	165.40 (<0.0001)	132.90 (<0.0001)	224.80 (<0.0001)	25.61 (<0.0001)	29.82 (<0.0001)

^aMedias seguidas de la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente entre sí (Tukey, $\alpha = 0.05$). ^bSesgo sistemático (v ; $v = 1$ indica ausencia de sesgo con respecto a la línea de concordancia). ^cSesgo constante (μ ; $\mu = 0$ indica ausencia de sesgo con respecto a la línea de concordancia). ^dSesgo generalizado (C_b), que mide el grado de desviación de la línea de mejor ajuste con respecto a la línea de concordancia (Madden *et al.*, 2007). ^eCoeficiente de correlación de Pearson (r), utilizado como medida de precisión. ^fCoeficiente de concordancia de Lin (ρ_c), que integra las medidas de precisión (r) y sesgo generalizado (C_b) para evaluar la exactitud. ^gValor de ji-cuadrada (χ^2) de la prueba de Bartlett y su probabilidad asociada ($P < 0.05$).

Al analizar la confiabilidad entre evaluadores, se observó una mejora significativa en las estimaciones de severidad de *P. cubensis* en pepino cuando se utilizó la escala

diagramática, en comparación con la evaluación realizada sin ayuda de la escala. Esta tendencia se refleja en el Cuadro 2, donde la media del coeficiente de determinación (R^2) mostró diferencias estadísticas claras entre las evaluaciones. En la primera evaluación sin ayuda de la escala (SA), el valor de R^2 fue de 0.12, lo que indica una baja confiabilidad entre evaluadores; mientras que en las evaluaciones realizadas a las dos (CA1) y cuatro semanas (CA2) posteriores, con la ayuda de la escala diagramática, los valores de R^2 se incrementaron a 0.83 y 0.87, respectivamente, evidenciando un mayor grado de consistencia y reproducibilidad en las estimaciones.

La validación de una escala diagramática es un paso fundamental para garantizar su aplicabilidad en evaluaciones de campo, particularmente cuando participan múltiples evaluadores con distintos niveles de experiencia (Lenz *et al.*, 2010). En este contexto, los resultados obtenidos demuestran estadísticamente que la escala diagramática diseñada en este estudio es confiable para evaluar la severidad de *P. cubensis* en pepino, constituyéndose en una herramienta práctica y robusta para investigadores, técnicos y productores que requieren estimaciones precisas de la enfermedad en el cultivo.

Cuadro 2. Medidas de confiabilidad entre evaluadores de las estimaciones de severidad del mildiu (*Pseudoperonospora cubensis*) realizadas por 20 evaluadores sin experiencia en tres evaluaciones sucesivas: sin ayuda de la escala diagramática (SA) y con ayuda de la escala a las dos (CA1) y cuatro semanas (CA2) posteriores a la evaluación inicial.

Evaluación	R^{2b}	95 % CI ^c	P-value
SA	0.120 b ^a (0.01)	0.09-0.14	<.0001
CA1	0.834 a (0.02)	0.79-0.86	<.0001
CA2	0.872 a (0.01)	0.85-0.89	<.0001

^aMedias seguidas de la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente entre sí (Tukey, $\alpha = 0.05$). ^bMedias ($\pm$ error estándar) de todas las comparaciones por pares entre evaluadores, calculadas a partir del coeficiente de determinación (R^2) de la relación entre dos evaluadores (Lin, 1989). Los valores medios se compararon entre evaluaciones mediante una prueba de *t* apareada. ^cIntervalo de confianza correspondiente a cada evaluación.

Resultados similares han sido reportados en otros patosistemas. Ortega-Acosta *et al.* (2016), al evaluar la severidad del manchado de hojas y cálices por *Corynespora cassicola* en jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), observaron que el uso de una escala diagramática mejoró notablemente la exactitud de las estimaciones, destacando que los mayores errores absolutos y la tendencia a la sobreestimación ocurrieron cuando las evaluaciones se realizaron sin apoyo de la escala. De manera congruente, Lima *et al.* (2017) demostraron que el empleo de una escala diagramática incrementó la confiabilidad en la evaluación de la cenicilla de la castaña (*Anacardium occidentale*) causada por el hongo *Pseudoidium anacardii*, incluso cuando participaron evaluadores con y sin experiencia, quienes alcanzaron coeficientes de determinación de 0.94 y 0.91, respectivamente.

Estos antecedentes concuerdan plenamente con los resultados del presente estudio, en el que se obtuvieron coeficientes de determinación elevados (0.83 y 0.87) al implementar la escala diagramática en las dos evaluaciones (CA1 y CA2), en contraste con el valor relativamente bajo registrado en la evaluación sin escala (0.12). En conjunto estos hallazgos, confirman que el uso de escalas diagramáticas reduce la variabilidad entre evaluadores y mejora sustancialmente la confiabilidad de las estimaciones visuales de severidad en enfermedades foliares.

CONCLUSIONES

La escala diagramática diseñada y validada para evaluar la severidad del mildiu en pepino, permitió obtener estimaciones de severidad significativamente más precisas, exactas y concordantes. La escala se recomienda usarla para evaluar la severidad en otros trabajos de investigación, particularmente en escenarios donde participan múltiples evaluadores, ya que reduce la variabilidad entre observaciones y mejora sustancialmente la exactitud y precisión de las estimaciones visuales.

Conflicto de interés. Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos. Los autores agradecen al CONAHCYT, actualmente Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el apoyo institucional otorgado al primer autor durante sus estudios de maestría en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Contribución de los autores. **Juan Carlos González-Acevedo:** Edición y revisión del manuscrito; **Santiago Domínguez-Monge:** Concepción del estudio, preparación del manuscrito, análisis estadístico e interpretación de los datos; **Dagoberto Guillén-Sánchez†:** Concepción, diseño y ejecución del estudio; **Víctor López-Martínez:** Diseño y ejecución del estudio; **Porfirio Juárez-López, Irán Alia-Tejagal:** Revisión del manuscrito; **Julio David Mendoza-García:** Edición y revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

- Acco L, Gomes D, Matos J, Ribeiro N y Balbi-Peña MI. 2020. Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da pústula bacteriana em soja. *Summa Phytopathologica* 46: 145-149. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/211476>
- Alhasnawi NJR, Kareem AM and Abdullah ZM. 2020. Effect of organic and chemical fertilizers on growth and yield cucumber, *Cucumis sativus* L. *Indian Journal of Ecology* 47. Special Issue (8): 00-00.
- Almándoz-Parrado JE, Díaz-Rodríguez JA, Orbeal-López G, Rivero-González LA, Rivero-Robaina E, *et al.* 2016. Evaluación de la efectividad de la zeolita sobre el mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*) en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en sistemas protegidos. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal* 280: 43-47. https://www.phytoma.com/images/pdf/280_junio_julio_2016_Hortícolas_mildiu_pepino.pdf
- Alves GCS, Santos LC, Duarte HSS, Díaz V, Zambolim L, *et al.* 2015. Escala diagramática para quantificação da ferrugem da folha do trigo. *Multi-Science Journal* 1: 128-133. <https://repositorio.bc.ufg.br/riserver/api/core/bitstreams/55938d56-bc26-4717-881b-dc31041984bb/content>
- Belan LL, Pozza EA, Freitas MLO, Sousa RM, Jesús-Junior WC, *et al.* 2014. Diagrammatic scale for assessment of bacterial blight in coffee leaves. *Journal of Phytopathology* 162: 801-810.
- Bock CH, Barbedo JGA, Del Ponte EM, Bohnenkamp D, Mahlein AK. 2020 From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity: status and challenges for improving accuracy. *Phytopathology Research* 2:9 <https://doi.org/10.1186/s42483-020-00049-8>
- Bock CH, Chiang KS and Del Ponte EM. 2016. Accuracy of plant specimen diseases severity estimates: Concepts, history, methods, ramifications and challenges for the future. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 11(032), 21. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201611032>
- Bock CH, Pethybridge SJ, Barbedo JGA, Esker PD, Mahlein A K and Del Ponte EM. 2021. A phytopathometry glossary for the twenty first century: towards consistency and precision in intra and interdisciplinary dialogues. *Tropical Plant Pathology* 47: 14-24. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00454-0>
- Bock CH, Poole G, Parker PE and Gottwald TR. 2010. Plant Disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical Reviews in Plant Sciences* 29: 59-107. <https://doi.org/10.1080/07352681003617285>
- Capucho AS, Zambolim L, Duarte HSS and Vaz G. 2011. Development and validation of a standard area diagram set to estimate severity of leaf rust in *Coffea arabica* and *C. canephora*. *Plant Pathology* 60: 1144-1150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02472.x>

- Cohen Y, Rubin AE, Galperin M, Ploch S, Runge F, *et al.* 2014. Seed Transmission of *Pseudoperonospora cubensis*. PLoS ONE 9(10): e109766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109766>
- Cohen Y, Rubin AE and Galperin M. 2019. Novel synergistic fungicidal mixtures of oxathiapiprolin protect sunflower seeds from downy mildew caused by *Plasmopara halstedii*. Plos One 14: e0222827. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222827>
- Cohen Y, Van den Langenberg KM, Wehner TC, Ojiambo PS, Hausbeck M, *et al.* 2015. Resurgence of *Pseudoperonospora cubensis*: The causal agent of cucurbit downy mildew. Phytopathology 105:998-1012. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-14-0334-FI>
- Correia KC, Jansen de-Queiroz JV, Martins RB, Nicoli A, Del Ponte EM, *et al.* 2017. Development and evaluation of a standard area diagram set for the severity of phomopsis leaf blight on eggplant. 149: 269-276. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1184-y>
- Cristiane-Delmadi L, Cristiane de Pieri, Sander-Porcena A and Luiz-Furtado E. 2018. Diagramatic scale for quantification of rust severity in teak leaves. Revista Mexicana de Fitopatología 36: 331-341. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1708-5>
- Cristóbal A, Eb LA, Suárez JM, Pérez A, Latournerie L, *et al.* 2006. Epidemiología del mildiú de las cucurbitáceas (*Pseudoperonospora cubensis* Berk & Curt) en materiales de melón (*Cucumis melo* L.). Fitosanidad 10: 197-201. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209116108003.pdf>
- Del Ponte EM, Cazón LI, Alves K, Pethybridge S and Bock C. 2022. How much do standard area diagrams improve accuracy of visual estimates of plant disease severity? A systematic review and meta-analysis. Tropical Plant Pathology 47: 43-57. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00479-5>
- Del Ponte EM, Pethybridge SJ, Bock CH, Michereff SJ, Machado FJ *et al.* 2017. Standard area diagrams for aiding severity estimation: scientometrics, pathosystems and methodological trends in the last 25 years. Phytopathology 107:1161-1174. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-17-0069-FI>
- Félix-Gastélum R, Herrera-Rodríguez G, Leyva-Madriral KY y Mora-Romero GA. 2023. Arvenses y ruderales como potenciales fuentes de inóculo de enfermedades en hortalizas en el norte de Sinaloa. Revista Mexicana de Fitopatología 41(4): 5. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2023-4>
- Flores-Sánchez JL, Saucedo-Acosta CP, Domínguez-Monge S, Mendoza-García JD, García-Munguía AM, *et al.* 2025. Elaboración y validación de una escala diagramática para evaluar la severidad de cenicilla en chabacano (*Prunus armeniaca* L.). Acta Agrícola y Pecuaria 11: 1-7. <https://doi.org/10.30973/aap/2025.10.0111013>
- Hammer RS, Ben Naim Y, Brand A and Cohen Y. 2025. Transfer of downy mildew resistance genes from wild cucumbers to beita alpha types. Journal of Fungi 11:597. <https://doi.org/10.3390/jof11080597>
- Leiva W, Arauz F y Ríos R. 2010. Evaluación de fungicidas convencionales e inductores de resistencia para el combate del mildiú vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*) en melón (*Cucumis melo*). Agronomía Costarricense 34: 153-164. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43620066004.pdf>
- Lenz G, Balardin S, Corte G, Marques L y Debona D. 2010. Escala diagramática para avaliação de severidade de mancha parda em arroz. Ciência Rural 40: 752-758. <https://www.redalyc.org/pdf/331/33117312035.pdf>
- Lima JS, Martins MVV, Viana FMP y Cardoso JE. 2017. Escala diagramática para avaliação da severidade do oídio em castanhas de caju. Summa Phytopathologica 44: 252-260. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/178543>
- Lin LIK. 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. Biometrics 45: 255-268. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2720055/>
- Madden LV, Hughes G and van den Bosch F. 2007. The study of plant disease epidemics. St. Paul: APS Press. <https://doi.org/10.1094/9780890545058>
- Meirelles SA and Cardoso C. 2012. Metodologia para elaboração de escalas diagramáticas para avaliação de doenças em plantas. Comunicado Técnico, 120 (Julho), 1-6. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/932256/1/ComunicadoTecnico120.pdf>
- Mora-Aguilera G. 2013. Elaboración de una escala logarítmica diagramática de medición de intensidad de enfermedad. Práctica No.9. Colegio de Postgraduados 1.
- Naegle RP and Wehner TC. 2017. Genetic resources of cucumber. In: Grumet, R., Katzir, N., Garcia-Mas, J. (eds). Genetics and genomics of Cucurbitaceae. Springer, Berlin, pp 61-86. <https://cucurbitbreeding.wordpress.ncsu.edu/files/2016/04/genetic-resources-of-cucumber.pdf>
- Nutter FW and Schultz, PM. 1995. Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. Canadian Journal of Plant Pathology 17:174-184. <https://doi.org/10.1080/07060669509500709>
- Nutter FW, Teng PS and Shokes FM. 1991. Disease assessment terms and concepts. Plant Disease 75: 1187-1188. https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1991Articles/PlantDisease75n11_1187.pdf

- Ortega-Acosta SA, Velasco-Cruz C, Hernández-Morales J, Ochoa-Martínez D and Hernández-Ruíz J. 2016. Diagramatic logarithmic scales for assess the severity of spotted leaves and calyces of roselle. *Revista Mexicana de Fitopatología* 34: 270-285. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1606-6>
- Pereira WEL, de Andrade SMP, Del Ponte EM, Esteves MB, Canale MC, *et al.* 2020. Severity assessment in the *Nicotiana tabacum-Xylella fastidiosa* subsp. pauca pathosystem: design and interlaboratory validation of a standard area diagram set. *Tropical Plant Pathology* 45 (6): 710–722. <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00401-5>
- Pouzeshimiyab B and Fani SR. 2020. Epidemiology and Aerobiology of *Pseudoperonospora cubensis* in northwest Iran. *Italian Journal of Agrometeorology* 2: 109-116. <https://doi.org/10.13128/ijam-850>
- Ramezani M, Rahmani F and Dehestani A. 2017. The effect of potassium phosphite on PR genes expression and the phenylpropanoid pathway in cucumber (*Cucumis sativus*) plants inoculated with *Pseudoperonospora cubensis*. *Scientia Horticulturae* 225: 366-372. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.022>
- Ruiz E, Tún J, Pinzón L, Valerio G y Zavala M. 2008. Evaluación de fungicidas sistémicos para el control del mildiú veloso (*Pseudoperonospora cubensis* Berk. Y Curt.) Rost. En el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 4: 79-84. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v14n1/v14n1a11.pdf>
- Salcedo A, Hausbeck M, Pigg S and Quesada-Ocampo LM. 2020 Diagnostic Guide for Cucurbit Downy Mildew. *Plant Health Prog.* 21:166–172. <https://doi.org/10.1094/PHP-12-19-0095-DG>
- Savory E, Granke LL, Quesada-Ocampo LM, Varbanova M, Hausbeck MK *et al.* 2011. The cucurbit downy mildew pathogen *Pseudoperonospora cubensis*. *Molecular Plant Pathology* 12: 217-226. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00670.x>
- Silva GT, Ribeiro MP, Barros Júnior AP, Da Silveira LM, Ribeiro Júnior PM, *et al.* 2016. Characterization of cucurbit production systems and disease prevalence in municipalities in Pernambuco. *Revista Caatinga* 29: 774-779. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n330rc>
- Sun Z, Yu S, Hu Y y Wen Y. 2022. Control biológico del mildiú veloso del pepino, *Pseudoperonospora cubensis*. *Horticulturae*, 8 (5): 410. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050410>
- Vivas M, Da Silveira F, Vivas JM y Pereira M. 2012. Patometría, parámetros genéticos e reação de progenies de mamoeiro à pintapreta. *Bragantia* 71: 235-238. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012005000021>
- Zavala MJ y Cristóbal J. 2012. Escala logarítmica diagramática de severidad de la antracnosis (*Colletotrichum gloesporoides*) en papaya (*Carica papaya*). *Fitosanidad* 16: 83-86. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209126216004.pdf>