



Validación de una escala diagramática logarítmica de severidad para cuantificar daño de *Botrytis fabae* en haba

Ernesto Alonso López-Reyes, Álvaro Castaneda-Vildózola, Jesús Ricardo Sánchez-Pale*, Juyma Mayvé Fragoso-Benhumea, Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Ctra. Toluca-Ixtlahuaca Km. 15.5, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, C.P. 50200. **Rómulo García-Velasco**, Centro Universitario UAEM Tenancingo. Carretera Tenancingo - Villa Guerrero Km. 1.5 Tenancingo, C.P. 52400. **Andrés Quezada-Salinas**, DGSV, CNRF. Carretera Federal México-Pachuca km 37.5, Tecámac. C. P. 55740. Estado de México, México.

*Autor de Correspondencia:
Jesús Ricardo Sánchez-Pale
jrsanchezp@uaemex.mx

Sección:
Edición periódica

Recibido:
12 Noviembre, 2024

Aceptado:
26 Agosto, 2025

Publicado:
28 Agosto, 2025

Cita:
López-Reyes EA, Castañeda-Vildózola A, Sánchez-Pale JR, Fragoso-Benhumea JM, García-Velasco R, et al. 2025. Validación de una escala diagramática logarítmica de severidad para cuantificar daño de *Botrytis fabae* en haba. Revista Mexicana de Fitopatología 43(3): 83. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2411-1>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. La producción de haba (*Vicia faba*) en el Valle de Toluca se afecta severamente por *Botrytis fabae*. Por ello es necesario disponer de una escala diagramática de severidad diseñada y validada para cuantificar sus daños.

Materiales y Métodos. En tres plantaciones comerciales de haba se colectaron 150 foliolos a partir de una preselección visual con base en variabilidad sintomatológica. Posteriormente, 138 láminas foliares se digitalizaron con el software APS PRESS ©Assess 2.0 para cuantificar el valor de daño real por foliolo. Se desarrolló una escala diagramática logarítmica de seis clases. Se realizó una primera evaluación visual, sin apoyo de la escala diagramática, en foliolos con diferentes grados de daño por 20 evaluadores sin experiencia en evaluación de daño. Una segunda evaluación se realizó con 10 evaluadores con apoyo de la escala. Los valores obtenidos se analizaron mediante una regresión lineal simple para estimar precisión y exactitud.

Resultados. Se desarrolló una escala diagramática conformada por seis clases: 0 (0), 1 (0.1-10.0), 2 (10.01-20.0), 3 (20.01-35.0), 4 (35.01-58.0), 5 (> 58.01-100). Los resultados de regresión lineal simple por evaluador mostraron, para la evaluación sin escala, valores de r^2 (exactitud) entre 0.07-0.78; β_1 (precisión)=0.0001-0.85; y entre evaluadores, β_1 (reproducibilidad)=0.16-1.54. En contraste, en la evaluación con escala, arrojó valores de $r^2 = 0.88-0.99$, $\beta_1 = 0.0001-0.93$ (por evaluador), y $\beta_1 < 0.0001$ (entre evaluadores). Lo que permitió validar positivamente la escala respecto a su exactitud, precisión y reproducibilidad.

Conclusión. Se generó una escala diagramática logarítmica confiable de seis clases para evaluar la severidad de la mancha de chocolate, enfermedad causada por *Botrytis fabae*.

Palabras clave: Mancha de chocolate, *Vicia faba*, Reproducibilidad



INTRODUCCIÓN

En el Estado de México, el cultivo de haba (*Vicia faba*) se destina tanto al consumo en seco como en fresco. El haba es fuente importante de proteína, con un contenido entre 14 y 35 %. Posee gran importancia económica y social para las zonas productoras (Calixto *et al.*, 2020). En 2023, la superficie nacional cultivada de haba verde fue de 10,080.5 ha, de las cuales se obtuvieron 68,984.76 t. En el mismo año, el Estado de México registró una producción de 694.65 t en una superficie de 4,835.14 ha consolidándose como principal productor (SIAP, 2023). La mancha de chocolate (*Botrytis fabae*) y la mancha café (*Ascochyta fabae*) afectan entre 25 y 80 % del área foliar (Omar, 2021). En los Valles Altos de México, la mancha de chocolate es una de las principales enfermedades (Hernández y Sandoval, 2015). Colak *et al.* (2017) mencionan que esta enfermedad puede presentarse de forma irregular en los tallos y hojas, lo que limita la actividad fotosintética y causar pérdidas en producción entre 50 y 100 %.

El comportamiento de los patógenos en espacio y tiempo se realiza mediante estudios epidemiológicos, entre los cuales destaca la estimación de los daños causados por el agente causal a través del tiempo en un espacio determinado (Olivares *et al.*, 2021). Bock *et al.* (2022) señalan que existen diversos métodos para estimar la severidad inducida por un fitopatógeno, definida como proporción del tejido afectado con respecto al área total del hospedante. Sin embargo, muchos de estos métodos presentan limitaciones relacionadas con errores en precisión, exactitud y reproducibilidad. Alves (2018), indica que la estimación de la severidad requiere estudios precisos, como el uso de escalas diagramáticas logarítmicas previamente evaluadas y validadas. En este sentido, el uso de escalas diagramáticas logarítmicas de severidad se ha consolidado en los últimos años como una herramienta útil para estimar daño de diversas enfermedades, permitiendo una evaluación rápida (Acco *et al.*, 2020). Estas escalas están estructuradas en intervalos de clase que representan el progreso de la enfermedad, lo cual facilita tomar decisiones e implementación de estrategias de manejo. Además, su practicidad y aplicabilidad presentan ventajas importantes (Lavilla y Petta, 2022). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue diseñar y validar una escala diagramática para determinar la severidad foliar de la mancha de chocolate, causada por *Botrytis fabae*, en el cultivo de haba en el Valle de Toluca.

En los municipios Zinacantepec (2124996.43 UTM N; 419277.08 UTM E), Toluca (2125772.03 UTM N; 428452.94 UTM E) y Calimaya (2117276.10 UTM N; 428894.07 UTM E), del Valle de Toluca, con un clima templado lluvioso (Cwbg) y temperatura promedio de 12.5 °C, con lluvias predominantes en verano, se seleccionaron tres parcelas comerciales de haba, previas a floración. Se colectaron un total de 150 folíolos: 50 folíolos del estrato bajo, medio y alto, con síntomas característicos a mancha de chocolate y con diferentes niveles de daño. Se colectaron 10-15 folíolos asintomáticos. Los folíolos se conservaron en una prensa botánica para reducir daños mecánicos y preservar sus características. Se trasladaron al laboratorio de Fitosanidad perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Los folíolos se preseleccionaron visualmente, descartándose los dañados por insecto, rasgados o con nivel de daño-sintomatología similar. Se seleccionaron 138 folíolos representativos, y se agruparon en seis categorías o rangos similares y se digitalizaron con ayuda de una impresora multifuncional marca HP® LASERJET PRO, modelo MFP M127fn.

En cada foliolo, se evaluó el área dañada con relación al total y se expresó en porcentaje, mediante el software APS PRESS® Assess 2.0 (Lamari, 2008). Así mismo, las áreas con síntomas y asintomática se determinaron con RGB (Rojo, Verde, Azul) (Passador *et al.*, 2013), y se estimó la severidad real de la enfermedad (S) en porcentaje, de acuerdo con la fórmula propuesta por Nutter *et al.* (2006): Severidad = $[(\text{área enferma})/(\text{área total de la hoja digitalizada})] * 100$. Los niveles logarítmicos de clase de severidad de la mancha de chocolate se determinaron de acuerdo con la ley de agudeza visual de Weber-Fechner, que establece una relación cuantitativa entre la magnitud de un estímulo físico y cómo este es percibido por el sujeto (Horsfall y Barrat, 1945). Se establecieron seis clases de severidad, así como los límites máximos y mínimos para cada una. Para validar la escala de severidad, se evaluaron las 138 imágenes digitalizadas con diferentes grados de daño, incluyendo los asintomáticos. Cada foliolo se colocó aleatoriamente en diapositivas individuales para ser proyectadas y visualizadas por 30 s con ayuda del software Microsoft 365® Power Point® (2022) y un proyector multimedia marca EPSON® PowerLite S18+ modelo V11H552021. La primera evaluación se realizó con 20 evaluadores sin experiencia en la cuantificación de severidad y sin apoyo de la escala generada.

La segunda evaluación se realizó a los ocho días posteriores a la primera, con 10 de los 20 evaluadores, quienes presentaron mejor agudeza visual y utilizaron la escala diagramática propuesta. En ambas evaluaciones se realizó una regresión lineal simple por evaluador para determinar la exactitud de los evaluadores, apoyados de los parámetros del coeficiente de determinación (r^2) y margen de error ($1-r^2$). Se realizó, una prueba de t al intercepto de la regresión lineal (β_0) para comprobar la hipótesis $H_0: \beta_0 = 0$, al coeficiente de la pendiente de la recta (β_1) y demostrar que fue diferente de 1, $H: \beta_1 = 1$, con una $P \leq 0.01$. La precisión de las estimaciones obtenidas se evaluó con base al coeficiente de determinación (r^2), exactitud y los errores absolutos (severidad estimada menos la severidad real) (Nutter *et al.*, 2006) obtenidas con un análisis de regresión lineal simple con el software SAS® versión 9.0 (Tang, 2020), tomando en cuenta a la severidad real como la variable independiente y la estimada como dependiente.

Los porcentajes de área dañada fluctuaron entre 0 y 58.1 %. En la primera evaluación, 10 evaluadores mostraron un nivel de precisión moderado en identificar la clase correspondiente a la severidad de la enfermedad; mientras que, el resto presentó deficiencias (Cuadro 1). Fragoso-Benhumea *et al.* (2022) señalan que los niveles de precisión de evaluadores que carecen de experiencia no son aceptables, y requieren de un entrenamiento previo que podría mejorar la calidad y confiabilidad de las evaluaciones.

Cuadro 1. Valores del Intercepto (β_0), pendiente de la línea (β_1), coeficiente de determinación (r^2) y margen de error ($1-r^2$) de la ecuación de regresión lineal simple en estimaciones visuales de la severidad causada por *Botrytis fabae*, con 20 evaluadores sin escala y 10 evaluadores con uso de la escala diagramática logarítmica.

Sin escala										Con escala				
ID	β_0^x	β_1	r^2	$1-r^2$	ID	β_0^x	β_1	r^2	$1-r^2$	ID	β_0	β_1^y	r^2	$1-r^2$
1	0.02*	1.54	0.55	0.45	11	<0.0001*	1.02	0.63	0.38	1	0.02*	<0.0001	0.90	0.10
2	<0.0001*	0.95	0.74	0.27	12	0.71*	1.26	0.65	0.35	2	<0.0001*	<0.0001	0.93	0.07
3	0.66	1.49	0.58	0.42	13	0.31	0.27	0.35	0.65	3	0.66*	<0.0001	0.96	0.04
4	0.01	1.08	0.33	0.67	14	0.04	1.37	0.34	0.66	4	0.01*	<0.0001	0.88	0.12
5	<0.0001*	0.83	0.11	0.89	15	0.04	0.16	0.48	0.52	5	<0.0001*	<0.0001	0.96	0.04
6	0.06	0.99	0.43	0.57	16	0.00*	1.35	0.61	0.39	6	0.06*	<0.0001	0.95	0.05
7	0.93	1.15	0.33	0.67	17	0.01*	0.90	0.54	0.46	7	0.93*	<0.0001	0.90	0.10
8	0.01*	1.20	0.66	0.35	18	0.85	1.06	0.26	0.75	8	0.01*	<0.0001	0.92	0.08
9	0.00*	0.61	0.07	0.93	19	0.32	0.84	0.63	0.37	9	0.01*	<0.0001	0.97	0.03
10	0.04*	0.52	0.78	0.22	20	0.35	0.91	0.70	0.30	10	0.04*	<0.0001	0.99	0.01
Promedio										Promedio				
0.487										0.936				
0.512										0.08				

^x hipótesis nula ($\beta_0=0$) fue rechazada por la prueba t ($P \leq 0.01$). precisión aceptable en negritas (r^2). ^y Es la significancia.

Para la segunda evaluación, se establecieron los límites mínimos y máximos de cada clase de severidad de la mancha de chocolate, expresados en porcentajes: C0: (0 = sin síntomas visibles), C1: (0.1-10.0; 8.8 valor medio = inicio de manchas concéntricas circulares menores a 20 mm), C2: (10.01-20.0; 14.5 = las manchas se incrementan, con un ligero hundimiento color café), C3: (20.01-35.0; 29.5= lesiones coalescen a lo largo y ancho del foliolo, desarrollando color rojizo con centros color café), C4: (35.01-58.0; 52.5 = las manchas presentan bordes color ladrillo a café, con centro café claro), C5: (>58.01-100; 65.5 = Las lesiones coalescen, desarrollan un color café rojizo, observado que el tejido vegetal comienza a necrosarse).

El valor mínimo de severidad observado fue del 0 % (foliolo sano) y el valor máximo de severidad de 58.1 % (Figura 1). Estos valores fueron fundamentales para determinar los límites de cada clase dentro de la escala. La escala de severidad construida tiene una serie de clases que contiene los rangos observables de la enfermedad y proporciona el comportamiento de la severidad de la enfermedad. Lo anterior concuerda con Campbell y Madden (1990), quienes definen que una escala de severidad debe estar compuesta por clases que representen los rangos observables de la enfermedad, proporcionando una resolución adecuada al comportamiento de la severidad.



Clase	0	1	2	3	4	5
Rango	0	0.01%-10.0%	10.01%-20.0%	20.01%-35.0%	35.01%-58.0%	58.01% >

Figura 1. Escala logarítmica diagramática de severidad para evaluar la mancha de chocolate causada por *Botrytis fabae* en haba.

Los valores del coeficiente de determinación (r^2) en los 20 evaluadores sin experiencia, fluctuaron de 0.07 - 0.78 con una media de 0.487, mientras que el margen de error ($1-r^2$) fue de 0.22 a 0.93 y una media de 0.512 (Cuadro 1). En la validación con apoyo de la escala, los valores del coeficiente de determinación (r^2) oscilaron entre 0.88 - 0.99 y una media de 0.936 (Cuadro 1), por lo que los resultados obtenidos en la segunda evaluación fueron superiores a la primera evaluación (Cuadro 1), es decir un entrenamiento previo, tiene influencia en la calidad de las evaluaciones, estos resultados concuerdan con lo reportado por Lavilla y Petta (2022) al obtener promedios mayores a 0.79 % de las evaluaciones realizadas con el empleo de escalas diagramáticas.

El margen de error ($1-r^2$) en la segunda etapa varió de 0.01 hasta 0.12, con una media de 0.06, indicativo que es significativo y aceptable (Hernández y Sandoval, 2015), además se determinó una mejor precisión (β_0) y exactitud (β_1) con ayuda de la escala diagramática propuesta (Figura 2). Por lo anterior, la escala propuesta es reproducible y precisa, en concordancia con lo reportado por Cristiane-Delmadi *et al.* (2018) y Hernández y Sandoval (2015).

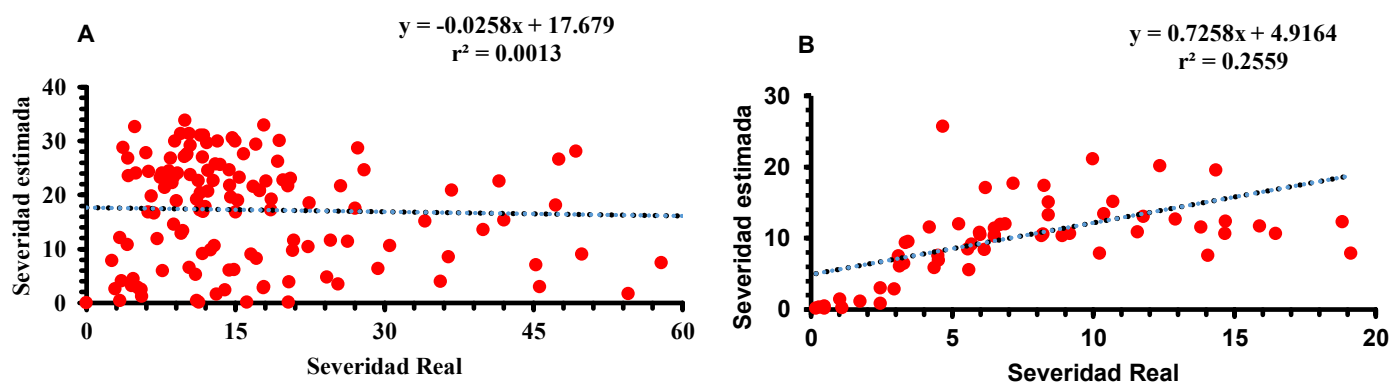


Figura 2. Distribución de residuales (severidad estimada-severidad real) de las evaluaciones de la mancha de chocolate (*Botrytis fabae*) en folíolos de haba. **A)** Evaluación sin escala. **B)** Evaluación con escala.

La precisión determinada de cada evaluador indica que una escala diagramática logarítmica representa un método estandarizado de cuantificación de una enfermedad y por esta razón se obtienen resultados favorables (Cristiane-Delmadi *et al.*, 2018; Hernández y Sandoval, 2015), además de una adecuada exactitud y precisión entre los evaluadores (Figura 1). De igual forma, estos resultados concuerdan con lo reportado por Muñoz *et al.* (2020) al indicar que la evaluación de daños con apoyo de una escala mejora considerablemente la precisión (r^2) como la exactitud (β_1). Fragoso-Benhumea *et al.* (2022) indicaron que una escala diagramática puede garantizar la reproducibilidad, pero no la exactitud y precisión de la estimación. Con respecto al coeficiente de la pendiente β_1 , en la mayoría de los evaluadores presentaron significancia, es decir, estadísticamente cercanos a 1, con un intervalo de confianza de $\alpha=0.01$ (99 %), lo anterior es indicativo que el uso de la escala diagramática de severidad permite obtener valores de precisión y exactitud cercanos a la severidad real, incluso cuando existen ligeras tendencias de subestimación y sobreestimación. Esta afirmación se refuerza al comparar los valores de error absoluto de las evaluaciones, donde se observa una disminución del error absoluto al utilizar la escala propuesta (Patricio-Hernández *et al.*, 2023).

La escala de severidad para evaluar la mancha de chocolate en el cultivo de haba causada por *Botrytis fabae*, compuesta por seis clases, proporcionó una alta reproducibilidad con niveles de exactitud (aproximadamente 1) y precisión (r^2 promedio = 0.96) aceptables, representando una herramienta para estandarizar la evaluación de daños en diferentes localidades, así como evaluar la eficacia de medidas de manejo o la respuesta de la sensibilidad de cultivares de haba al patógeno.

Limitaciones

No se consideró el efecto de variedad en la intensidad del daño. Puede tener un efecto en los niveles máximos de daño.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés personales ni institucionales.

Financiamiento

Esta investigación se financió con recursos económicos y materiales otorgados por la Universidad Autónoma del Estado de México a través del proyecto 6477/2022CIB “Patrón espacial de roya y mancha de chocolate en el cultivo de haba del Valle de Toluca”.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, ahora SECIHTI) por la beca de maestría otorgada al primer autor. A los productores Manuel Mendoza Malavez, Bernabé Guadarrama Mejía, Demetrio Misael Monroy Peñaloza, y a la familia Hernández por las facilidades para obtener el material vegetal utilizado en la investigación. A la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México por el apoyo académico para llevar a cabo esta investigación.

Contribución de los autores

LREA – Investigación, pruebas con evaluadores, redacción-borrador original; **CVA** – Conceptualización y revisión; **SPJR** – Recursos, Conceptualización, Edición; **FBJM** – Investigación y Redacción; **GVR** – Conceptualización, redacción y revisión; **QSA** – Redacción y Revisión.

REFERENCIAS

- Acco LF, Gomes DG, Matos JN, Ribeiro NR e Balbi-Peña MI. 2020. Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da pústula bacteriana em soja. *Summa Phytopathologica* 46(2): 145–149. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/211476>
- Alves GCS, Santos LdeC, Duarte HdaSS, Dias V, Zambolim L, *et al.* 2018. Escala diagramática para quantificação da ferrugem da folha do trigo. *Multi-Science Journal* 1(1): 128–133. <https://doi.org/10.33837/msj.v1i1.59>
- Bock CH, Chiang KS and Del Ponte EM. 2022. Plant disease severity estimated visually: a century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Tropical Plant Pathology* 47:25–42. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00439-z>
- Callaghan SE, Williams AP, Burgess T, White D, Keovorlaja T, *et al.* 2016. First report of *Phytophthora capsici* in the Lao PDR. *Australasian Plant Pathology Society* 11:22. <https://doi.org/10.1007/s13314-016-0210-9>
- Campbell CL and Madden LV. 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. Jhon Wiley & Son. New York, USA. 532p.
- Calixto MJJ, Pérez LD de J, González HA, Franco MO, Morales PA, *et al.* 2020. Variabilidad en el contenido de taninos, proteína y propiedades físicas en granos de haba (*Vicia faba* L.). *Bioagro* 32(3): 215–224. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7901983>
- Çolak AA, Fidan H, Yılmaz N and Konuksal A. 2017. *Botrytis fabae* and Bean common mosaic virus (BCMV) are the most common diseases of Faba bean (*Vicia faba* L.) in TRNC. *Akademik Ziraat Dergisi* 6(2): 115–122. <https://doi.org/10.29278/azd.371067>
- Cristiane-Delmadi L, De Pieri C, Sander-Porcena A y Luiz-Furtado E. 2018. Escala diagramática para cuantificación de la severidad de la roya en hojas de teca. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(2):331–341. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1708-5>

- Fragoso-Benhumea JM, Sánchez-Pale JR, Castañeda-Vildózola Á, Franco-Mora O, Gutiérrez-Ibáñez AT, *et al.* 2022. Diagrammatic scale for rust severity assessment in broad bean (*Vicia faba*). Revista Mexicana de Fitopatología 40(3):474-482. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-2>
- Hernández RL y Sandoval IJS. 2015. Escala diagramática de severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz. Revista Mexicana de Fitopatología 33:95–103. https://rmf.smf.org.mx/Vol3312015/NotasFitop/1407_1_2015.pdf
- Horsfall JG and Barrat RW. 1945. An improved grading system for measuring plant diseases. Phytopathology 35(655). <https://plant-breeding-genomics.extension.org/horsfall-barratt-scale-quantitative-evaluation-of-disease/>
- Lamari L. 2008. ASSESS 2.0 Image Analysis Software for Plant Disease Quantification. American Phytopathological Society, St. Paul. USA.
- Lavilla M y Petta A. 2022. Determinación de una escala diagramática de severidad para mancha en red en cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.). Agronomía Mesoamericana 33(3):49035. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.49035>
- Muñoz AS, Guerrero AGE and González PPA. 2020. Diagrammatic scale for measuring severity of gray mould in thornless Castilla blackberry (*Rubus glaucus* Benth). Ciencia Rural 50(11): e20190859. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190859>
- Nutter FW, Esker PD and Netto RAC. 2006. Disease Assessment Concepts and the Advancements Made in Improving the Accuracy and Precision of Plant Disease Data. European Journal of Plant Pathology 115: 95–103. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-005-1230-z>
- Olivares BO, Rey JC, Lobo D, Navas-Cortés JA, Gómez JA, *et al.* 2021. Fusarium wilt of bananas: a review of agro-environmental factors in the venezuelan production system affecting its development. Agronomy 11(5): 986. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050986>
- Omar SAM. 2021. The Importance of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Diseases in Egypt. Pp. 371-388 In: Awaad, H., Abu-hashim, M., Negm, A. (eds) Mitigating Environmental Stresses for Agricultural Sustainability in Egypt. Springer Water. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64323-2_13
- Passador MM, Porcena AS, Masson MV, Pieri Cde, Finkenauer E, *et al.* 2013. Escala diagramática para la cuantificación de la severidad de las manchas en las hojas de *Eucalyptus globulus* Labill. causadas por *Teratosphaeria nubilosa* (Cooke) Crous & U. Braun. Ciencia Florestal 23(2): 521–528. <https://doi.org/10.5902/198050989296>
- Patricio-Hernández A, Mercado-Flores Y, Téllez-Jurado A, Ramírez-Vargas MdelR and Quezada-Salinas A. 2023. Diagrammatic scale to evaluate the severity of gray mold (*Botrytis cinerea*) in pomegranate. Mexican Journal of Phytopathology 41(3): 524-536. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2302-9>
- SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2019. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consulta, octubre 2024.
- Tang CK. 2020. SAS in Windows Environment. In SAS® Coding Primer and Reference Guide (pp. 9–15). Auerbach Publications. <https://doi.org/10.1201/9781003051299-2>