

# Diagrammatic scale for rust severity assessment in broad bean (*Vicia faba*)

## Escala diagramática para evaluar la severidad de roya en haba (*Vicia faba*)

Juyma Mayvé Fragoso-Benhumea, Jesús Ricardo Sánchez-Pale\*, Álvaro Castañeda-Vildózola, Omar Franco-Mora, Ana Tarín Gutiérrez-Ibáñez, Alejandra Contreras-Rendón, Postgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca Km. 15.5, El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Estado de México, C.P. 50200, México; Rómulo García-Velasco, Centro Universitario Tenancingo Universidad Autónoma del Estado de México, Km. 1.5 Carretera Tenancingo Villa Guerrero, Tenancingo Estado de México C.P. 52400 México.

\*Corresponding author: jrsanchezp@uaemex.mx

Received: June 02, 2022.

Accepted: August 23, 2022.

Fragoso-Benhumea JM, Sánchez-Pale JR, Castañeda-Vildózola A, Franco-Mora O, Gutiérrez-Ibáñez AT, Contreras-Rendón A and García-Velasco R. 2022. Diagrammatic scale for rust severity assessment in broad bean (*Vicia faba*). Mexican Journal of Phytopathology 40(3): 474-482.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2206-2>

First DOI publication: August 30, 2022.

Primera publicación DOI: 30 de Agosto, 2022.

**Abstract.** *Uromyces viciae-fabae* has increased in economic importance in broad bean-producing regions of central Mexico. It is therefore convenient to have a standardized system to quantify its severity. The objective of this study was to generate and validate a diagrammatic scale to evaluate the severity of rust on broad bean leaves. We collected

**Resumen.** *Uromyces viciae-fabae* ha incrementado su importancia económica en regiones productoras del centro de México y es conveniente que se cuente con un modelo para cuantificar su severidad. El objetivo de este trabajo fue generar y validar una escala diagramática para evaluar la severidad de la roya en hojas de haba. Se colectaron hojas de haba infectadas naturalmente en diferentes grados de daño en plantaciones comerciales del Valle de Toluca, y hojas sanas. Se tomaron 110 hojas representativas y se realizó una discriminación para seleccionar el rango de forma visual, posteriormente se digitalizaron y evaluaron para obtener el valor real de la severidad de cada hoja con el software ©ASSESS 2.0. Se generó una escala diagramática con 6 clases, y se verificó su exactitud, precisión ( $\beta_0$ ) y reproducibilidad ( $\beta_1$ ) mediante la evaluación de 58 hojas por 20 evaluadores. Los resultados obtenidos se analizaron mediante una

infected broad bean leaves with different degrees of damage from commercial crops in the Valle de Toluca and the southeastern region of Mexico State. One hundred and ten leaves representing the disease were taken and group discrimination was carried out to select the ranking visually. Then, the leaves were scanned and evaluated to obtain the real severity value for each leaf using the software ©ASSESS 2.0. A six-class diagrammatic scale was generated: 0 (0.0), 1 (>0.1-6.0), 2 (>6.1-12.0), 3 (>12.1-24.0), 4 (>24.1-56.0) y 5(>56.1-<100), and the exactitude, precision, and reproducibility of its estimations were verified. Fifty-eight leaves were evaluated by 20 evaluators without previous knowledge of the disease; the results obtained were analyzed using simple linear regression. In the initial selection evaluation, average  $r^2$  values of 0.738 were obtained, without scale, while for the evaluation where the proposed scale was used, the average was 0.93, which confirms adequate levels of accuracy and reproducibility that the proposed scale can provide, for this disease.

**Keywords:** *Uromyces viciae-fabae*, damage evaluation, epidemiology.

The broad bean (*Vicia faba*) is the seventh most important grain legume in the world. It is consumed green in the pod and as dry grain (SIAP, 2020). In 2020, the State of Mexico was the main producer of green broad beans with 39111 t (47.4%), followed by Puebla with 28529 t (34.6%) and Michoacán with 6388 t (7.7%). These three states accounted for 29.9% of total national production (SIAP, 2020).

According to a study by López (2013) in the Valley of Toluca, in recent years, diseases caused by phytopathogenic fungi have caused increasing damage to crops. Some particularly damaging diseases are chocolate spot (*Botrytis fabae*), brown

regresión lineal simple; en la evaluación inicial de selección se obtuvieron valores promedio de  $r^2$  de 0.738, sin escala, mientras que para la evaluación donde se usó la escala propuesta la media fue de 0.93, lo que confirma niveles adecuados de exactitud y reproducibilidad que puede brindar la escala propuesta para esta enfermedad.

**Palabras clave:** *Uromyces viciae-fabae*, evaluación de daño, epidemiología.

El haba (*Vicia faba*), es la séptima leguminosa de grano más importante en el mundo y se consume en vaina verde y grano seco (SIAP, 2020). En 2020 el Estado de México fue el principal productor de haba verde con 39,111 t (47.4%), seguido por Puebla con 28,529 t (34.6%) y Michoacán con 6,388 t (7.7%), por lo que estas tres entidades representaron el 29.9% de la producción nacional total (SIAP, 2020).

Según López (2013), en el Valle de Toluca, en los últimos años, las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos han incrementado sus daños, sobresaliendo la mancha de chocolate (*Botrytis fabae*), la mancha café (*Ascochyta fabae*), la pudrición de la raíz (*Rhizoctonia solani*) y la roya (*Uromyces viciae-fabae*). Esta última se puede presentar desde el estado de plántula, hasta la madurez del cultivo. Afecta cualquier parte de la planta, preferentemente a las hojas de las partes medias y basales (Gautam *et al.*, 2020), pero también se ha observado en las hojas superiores con menor incidencia (Lopez, 2013). Las pústulas son de color café marrón, ubicadas en el centro de halos cloróticos que ocurren en el haz y en el envés de las hojas (Gautam *et al.*, 2020). En otros estudios, dentro del halo se presentan varias pústulas dispuestas en círculos o irregularmente (Gautam *et al.*, 2020), afectando el rendimiento de las plantaciones desde un

spot (*Ascochyta fabae*), root rot (*Rhizoctonia solani*) and rust (*Uromyces viciae-fabae*). The latter can attack plants from the seedling stage through maturity. It affects any part of the plant, preferably the leaves in the middle and basal parts (Gautam *et al.*, 2020), but it has also been observed attacking the upper leaves, although less frequently (Lopez, 2013). The pustules are brownish-brown in color, located in the center of chlorotic halos that appear on the upper and lower sides of the leaves (Gautam *et al.*, 2020). In other studies, within the halo there are several pustules arranged in circles or irregularly (Gautam *et al.*, 2020). The reduction in the yield of the crops affected by this disease ranges from 40% (López, 2013) to 80%, but its effect goes beyond crop losses since production costs can exceed 30 thousand pesos per hectare depending on the geographical area (SIAP, 2020).

To date, no scale for quantifying the severity of rust in broad bean crops has been published. Such a scale would allow standardizing the evaluation of crop damage. Previously used scales were developed for beans and soybeans (Godoy *et al.*, 2006; Stavely, 1984). Several methods allow estimating the severity of a phytopathogenic disease as the proportion of affected tissue to the total area of the plant host, but most have precision, accuracy and reproducibility issues (Bock *et al.*, 2022). Rico *et al.* (2019) point out that logarithmic diagrammatic scales are among the most widely used tools for measuring damage. These scales consist of an illustrated representation of a series of plants, or parts of plants, showing symptoms of a disease in different degrees of severity.

This type of measurement system has the advantage of being practical, easy to use and manage (Lavilla *et al.*, 2022). Not all measurement systems based on diagrammatic scales are logarithmic, some are linear or arbitrary. These systems are important tools for evaluators working in the field,

40% (López, 2013) hasta un 80%, pero su efecto va más allá de cosecha no recuperable ya que los costos de producción sobrepasan los 30 mil pesos por hectárea dependiendo de la zona geográfica (SIAP, 2020).

Hasta el momento no se ha publicado una escala de cuantificación de la severidad de roya para el cultivo de haba que estandarice la evaluación del daño. Las escalas utilizadas con anterioridad corresponden a frijol y soja (Godoy *et al.*, 2006 y Stavely, 1984), por lo que es necesario elaborar dicha escala en haba que permita evaluar el daño de esta enfermedad y estandarizarla. Existen diversos métodos que permiten estimar la severidad de un fitopatógeno como proporción del tejido afectado con respecto al área total del hospedante, pero la mayoría adolece de problemas por los diferentes errores de precisión, exactitud y reproducibilidad (Bock *et al.*, 2022). Rico *et al.* (2019) señalaron que las escalas diagramáticas logarítmicas constituyen una de las herramientas más ampliamente utilizadas en la medición de daño. Estas escalas consisten en la representación ilustrada de una serie de plantas o partes de las plantas, mostrando síntomas de una enfermedad en diferentes grados de severidad.

Este tipo de sistema de medición tiene la ventaja de ser práctico, de fácil uso y manejo (Lavilla *et al.*, 2022). No todos los sistemas de medición con base en escalas diagramáticas son logarítmicas, algunas son lineales o totalmente arbitrarias. Estos sistemas son importantes debido a la participación de grupos de evaluadores en condiciones de campo, los cuales resultan esenciales en sistemas de vigilancia epidemiológica (Ortega-Acosta *et al.*, 2016; Lavilla *et al.*, 2022).

Para la elaboración de escalas se deben considerar aspectos como, los límites superior e inferior, los cuales deben corresponder, respectivamente, a la cantidad máxima y mínima de la enfermedad encontrada en el campo; la representación de los

which are crucial participants in epidemiological surveillance systems (Ortega-Acosta *et al.*, 2016; Lavilla *et al.*, 2022).

The construction of these scales must take into account aspects such as the upper and lower limits, which should correspond to the maximum and minimum amount of the disease found in the field, respectively. The representation of the symptoms must be as close as possible to what is observed in the plants, and the intermediate levels of disease severity should consider the limitations of human vision, as defined by Weber-Fechner laws (Nutter and Schultz, 1995). These diagrammatic scales must be tested (validated) before being proposed as a standard method of disease quantification. If they produce unsatisfactory results, they should be corrected (Bock *et al.*, 2022). The present study aimed to generate and validate a diagrammatic scale to evaluate the severity of *U. viciae-fabae* in broad bean crops.

During the spring-summer agricultural cycle of 2020-2021, broad bean leaves naturally infected by *U. viciae-fabae* were collected in one-hectare commercial plots located in the municipalities of Zinacantepec (2,123,460 UTM N, 417,460 UTM W), Toluca (2,123,580 UTM N, 426,120 UTM W), and Calimaya (2,115,960 UTM N, 427,990 UTM W). A directed sample of 20 leaves was taken from each plot, each carefully selected to have a wide diversity of damage degrees and healthy leaves. For their transfer, the leaves were covered with newspaper and placed in a botanical press to avoid damage or contamination. They were transferred to the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Mexico. From this collection, a sample of 110 leaves with different degrees of damage was selected. This sample was subjected to a visual classification process using variable ranges. Subsequently, the leaves were digitized as images using a

síntomas, debe estar lo más cerca posible a lo observado en la planta; y los niveles intermedios de la severidad de la enfermedad, deben abarcar las limitaciones de la visión humana, tal como se definen en la “Ley del estímulo de Weber-Fechner” (Nutter y Schultz, 1995). Además, las escalas diagramáticas deben ser probadas (validadas) antes de ser propuestas como un método estándar de cuantificación de enfermedades y en el caso de producir resultados insatisfactorios, estas deben corregirse (Bock *et al.*, 2022). Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue generar y validar una escala diagramática para evaluar la severidad de *U. viciae-fabae* en el cultivo de haba.

Durante el ciclo agrícola primavera-verano 2020-2021 se realizó una colecta de hojas de haba infectadas naturalmente por *U. viciae-fabae* en parcelas comerciales de una hectárea, ubicadas en los municipios de Zinacantepec (2,123,460 UTM N, 417,460 UTM O), Toluca (2,123,580 UTM N, 426,120 UTM O) y Calimaya (2,115,960 UTM N, 427,990 UTM O). En cada parcela se tomó una muestra dirigida de 20 hojas, cada una seleccionada minuciosamente para que existiera una amplia diversidad de niveles de daño y hojas sanas. Para su traslado, las hojas se cubrieron con papel periódico y se colocaron en una prensa botánica con la finalidad de evitar daño, o contaminación y fueron trasladadas a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. De esta colección se seleccionó una muestra de 110 hojas con diferentes niveles de daño, las cuales se sometieron a un proceso de clasificación visual en rangos variables; y posteriormente las hojas se ingresaron a una impresora multifuncional de la marca HP-® LASERJET PRO MFP M127fn para ser digitalizadas como imágenes (Scapin *et al.*, 2014).

Las hojas digitalizadas fueron sometidas a una primera evaluación por 20 evaluadores sin conocimientos previos, para que les asignaran un porcen-

multifunctional printer (HP® LASERJET PRO MFP M127fn) (Scapin *et al.*, 2014).

The digitized leaves were subjected to a first evaluation by 20 evaluators without prior knowledge who assigned them a disease percentage. This evaluation was made based on the percentage of actual severity (S) of the disease, based on the formula: severity = (disease area/total area of the image) \* 100 (Nutter *et al.*, 2006). The minimum and maximum severity values were used to define the minimum and maximum values of the proposed scale. These results were compared with the values assigned by the ©ASSESS 2.0 software (Image Analysis Software for Plant Disease Quantification).

The scale was validated using 58 digitized leaves that represented the different degrees of severity. The images were randomized and projected as individual slides using the Power Point program (Microsoft 365®) to 10 of the 20 evaluators involved in the first evaluation, selected according to the accuracy of their evaluation and their commitment to the project. Using a simple linear regression, the accuracy and precision of the severity evaluation of each evaluator were estimated and compared with the actual severity value obtained with the ©ASSESS 2.0 software.

The accuracy of the evaluation was determined using a T test (severity estimated by each evaluator compared with actual values of severity estimated by the software) applied to the intercept of the linear regression ( $\beta_0$ ) to verify the intercept hypothesis  $H_0: \beta_0=0$ , and by checking that the coefficient of the slope ( $\beta_1$ ) was different from 1 ( $H_1: \beta_1=1$ ), with  $P \leq 0.01$ . The precision of the estimates was determined based on the coefficient of determination ( $r^2$ ) of the regression and the absolute error ( $1-r^2$ ) (Hernández and Sandoval, 2015). The linear regression analysis was carried out with the statistical software SAS (Statistical Analysis System) version 9.0.

taje de enfermedad. Esta evaluación se hizo considerando el porcentaje de severidad real (S) de la enfermedad, con base en la fórmula: severidad = (área enferma / área total de la imagen) \* 100 (Nutter *et al.*, 2006); donde el valor mínimo y máximo de severidad se utilizaron para definir los límites mínimos y máximos de la escala propuesta. Estos resultados fueron comparados con los valores asignados por el software ©ASSESS 2.0 (Image Analysis Software for Plant Disease Quantification).

Para validar la escala se utilizaron 58 hojas digitalizadas, representativas de los diferentes grados de severidad. Las imágenes fueron aleatorizadas y proyectadas en diapositivas individuales con el programa Microsoft 365® Power Point, a 10 de los 20 evaluadores ocupados en la primera evaluación, seleccionados según el nivel de acierto obtenido y su compromiso para el proyecto. Mediante una regresión lineal simple se estimó la exactitud y precisión de las evaluaciones de severidad de cada evaluador y se comparó con el valor real de severidad obtenidos con el software ©ASSESS 2.0.

La exactitud se determinó con la prueba T (severidad estimada por cada evaluador contra valores reales de severidad estimado por el software) aplicada al intercepto de la regresión lineal ( $\beta_0$ ), para verificar la hipótesis del intercepto  $H_0: \beta_0=0$ ; y con el coeficiente de la pendiente de la recta ( $\beta_1$ ) para estimar si fue diferente de 1 ( $H_1: \beta_1=1$ ), con  $P \leq 0.01$ . La precisión de las estimaciones fue determinada con el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de la regresión y el error absoluto ( $1-r^2$ ) (Hernández y Sandoval, 2015). El análisis de regresión lineal se llevó a cabo con el software estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0.

La escala diagramática de severidad para *U. viciae-fabae* obtenida, quedó constituida por seis clases, representadas por los intervalos de valores 0 (0,0), 1 (>0.1-6.0), 2 (>6.1-12.0), 3 (>12.1-24.0), 4 (>24.1-56.0) y 5 (>56.1-<100). El valor máximo de severidad observado fue del 56%, con presencia de



The diagrammatic severity scale for *U. viciae-fabae* obtained was made up of six classes, represented by the following ranges of values: 0 (0.0), 1 (>0.1-6.0), 2 (>6.1-12.0), 3 (>12.1-24.0), 4 (>24.1-56.0), and 5 (>56.1-<100). The maximum severity value was 56%, associated with discoloration to a pale green hue and coalesced pustules, which meets the characteristics for this degree of damage. The lower limit observed was 0% damage (Figure 1).

The values of  $r^2$  (coefficient of determination) of the first evaluation ranged from 0.575 to 0.892, with a mean of 0.738 (Table 1). In the evaluation using the proposed scale, the values ranged from 0.90 to 0.97, with a mean of 0.93 (Table 1). Therefore, the evaluations can be considered accurate, according to Belan *et al.* (2014). Ortega-Acosta *et al.* (2016) reported average results >0.80 in 100% of the combinations of the two evaluations. This indicates that the diagrammatic scales are reproducible and

decoloraciones a una tonalidad verde pálido, y coalescencia de las pústulas, que cumple con las características para este nivel; en contraste, el límite inferior observado fue del 0% de daño (Figura 1).

En la estimación del daño de la enfermedad, los valores de  $r^2$  (coeficiente de determinación) en la evaluación de selección de hojas para la formación de la escala, sus valores variaron de 0.575 a 0.892, con media de 0.738 (Cuadro 1); mientras que en la evaluación donde se usó la escala propuesta los valores fluctuaron de 0.90 a 0.97, con media de 0.93 (Cuadro 1) por lo que se consideran precisas de acuerdo a lo mencionado por Belan *et al.* (2014). En este mismo sentido Ortega-Acosta *et al.* (2016) reportan resultados promedio >0.80 en el 100% de las combinaciones de las dos evaluaciones, lo que es indicativo de que las escalas diagramáticas son reproducibles y es posible su implementación en campo, ya que los resultados de las evaluaciones mejoraron con el uso de la escala propuesta.

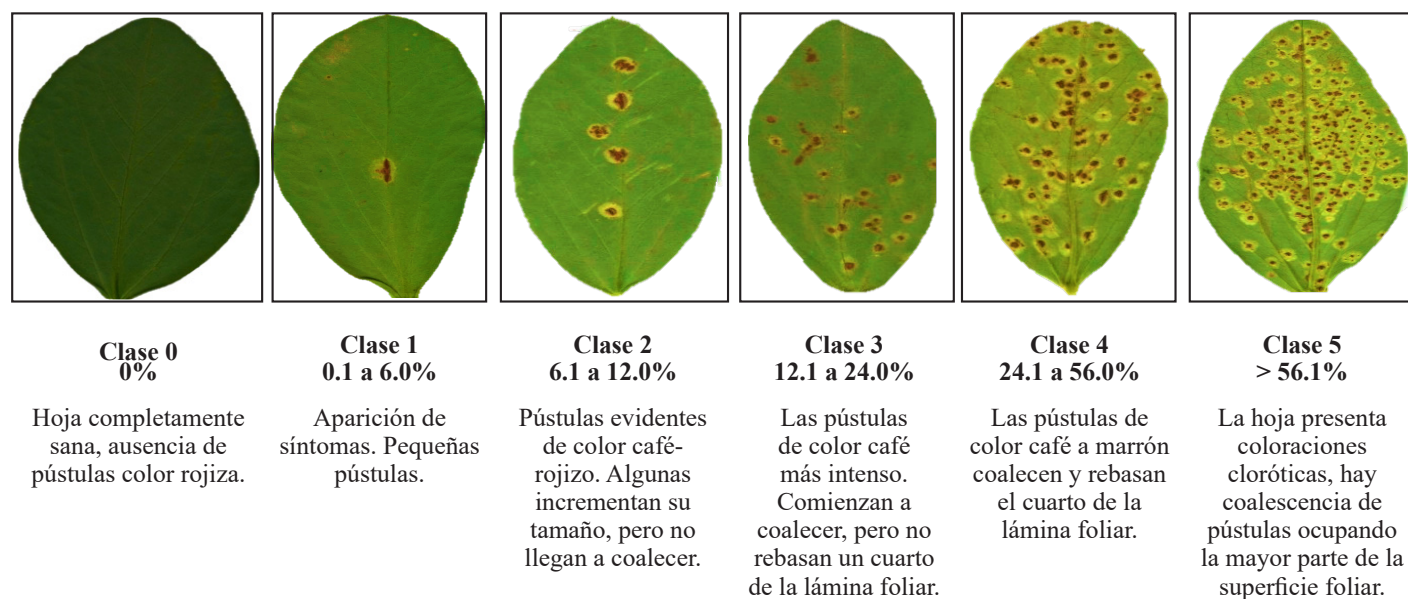


Figure 1. Diagrammatic scale to evaluate the severity of broad bean rust caused by *Uromyces viciae-fabae*.  
Figura 1. Escala diagramática para evaluar la severidad de la roya del haba ocasionada por *Uromyces viciae-fabae*.

**Table 1.** Values of the intercept ( $\beta_0$ ), slope of the line ( $\beta_1$ ), coefficient of determination ( $r^2$ ) and margin of error ( $1-r^2$ ) of the linear regression of the visual estimations of the severity of rust in broad bean (*Vicia faba*), with 20 evaluators without a diagrammatic scale and 10 evaluators with the proposed severity scale.

**Cuadro 1.** Valores del intercepto ( $\beta_0$ ), pendiente de la recta ( $\beta_1$ ), coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y margen de error ( $1-r^2$ ) de la ecuación de regresión lineal en las estimaciones visuales de la severidad de la roya en haba (*Vicia faba*) con 20 evaluadores sin escala.

| Coeficientes de Determinación       |        |       |       |         |            |        |        |              |                                  |           |              |        |       |         |
|-------------------------------------|--------|-------|-------|---------|------------|--------|--------|--------------|----------------------------------|-----------|--------------|--------|-------|---------|
| Sin Escala                          |        |       |       |         | Con Escala |        |        |              |                                  |           |              |        |       |         |
| Evaluador                           | $b_0$  | $b_1$ | $r^2$ | $1-r^2$ | Evaluador  | $b_0$  | $b_1$  | $r^2$        | $1-r^2$                          | Evaluador | $b_0$        | $b_1$  | $r^2$ | $1-r^2$ |
| 1                                   | 0.303  | 0.863 | 0.780 | 0.220   | 11         | 0.384  | 0.891  | 0.795        | 0.206                            | 1         | 0.097*       | 0.977* | 0.959 | 0.041   |
| 2                                   | 0.257  | 0.921 | 0.765 | 0.235   | 12         | 0.303  | 0.863  | 0.780        | 0.220                            | 2         | 0.097*       | 0.977* | 0.943 | 0.057   |
| 3                                   | 0.257  | 0.921 | 0.765 | 0.235   | 13         | 0.257  | 0.921  | 0.765        | 0.235                            | 3         | 0.143*       | 0.966* | 0.943 | 0.057   |
| 4                                   | 0.252  | 0.805 | 0.642 | 0.358   | 14         | 0.254* | 0.940* | 0.893        | 0.107                            | 4         | 0.063*       | 0.995* | 0.943 | 0.057   |
| 5                                   | 0.071  | 0.942 | 0.749 | 0.251   | 15         | 0.196  | 0.794  | 0.615        | 0.385                            | 5         | 0.075*       | 0.967* | 0.931 | 0.069   |
| 6                                   | 0.071  | 0.942 | 0.749 | 0.251   | 16         | 0.183  | 0.856  | 0.575        | 0.425                            | 6         | 0.081*       | 0.971* | 0.929 | 0.071   |
| 7                                   | -0.095 | 1.024 | 0.777 | 0.223   | 17         | 0.133  | 0.910  | 0.675        | 0.325                            | 7         | 0.126*       | 0.937* | 0.915 | 0.085   |
| 8                                   | -0.095 | 1.024 | 0.777 | 0.223   | 18         | 0.071  | 0.942  | 0.749        | 0.251                            | 8         | 0.062*       | 0.965* | 0.910 | 0.090   |
| 9                                   | -0.186 | 1.040 | 0.799 | 0.201   | 19         | -0.048 | 1.043  | 0.698        | 0.303                            | 9         | 0.176*       | 0.908* | 0.905 | 0.095   |
| 10                                  | -0.636 | 1.097 | 0.650 | 0.350   | 20         | -0.095 | 1.024  | 0.777        | 0.223                            | 10        | 0.203*       | 0.932* | 0.900 | 0.100   |
| <b>Promedio de <math>r^2</math></b> |        |       |       |         |            |        |        | <b>0.739</b> | <b>APPS</b>                      |           | 0.097*       | 0.977* | 0.979 | 0.021   |
|                                     |        |       |       |         |            |        |        |              | <b>Promedio <math>r^2</math></b> |           | <b>0.932</b> |        |       |         |

\* significant: Situation where the null hypothesis ( $\beta_0=0$  or  $\beta_1=1$ ) was rejected by the t-test ( $p \leq 0.05$ ). / \*significativo: Situación en dónde la hipótesis nula ( $\beta_0=0$  o  $\beta_1=1$ ) fue rechazada por la prueba t ( $p \leq 0.05$ ).

their implementation in the field is possible since the results of the evaluations improved with the use of the proposed scale.

The reproducibility of the evaluation of the degree of damage using the proposed scale is considered high because the evaluators estimated similar percentages of severity (Hernández and Sandoval, 2015). The determination coefficients between the different evaluators ranged from 0.90 to 0.97. Thus, it can be said that the diagrammatic scale proposed to evaluate the severity of broad bean rust fits well with the actual values of severity, which are similar to those produced by the software ©ASSESS 2.0 ( $R^2=0.98$ ). This indicates that the evaluators were highly accurate, which reduced the absolute errors (Figure 2). This is consistent with what is reported about the regional coffee rust (*Hemileia vastatrix*) severity assessment system,

En la evaluación del nivel de daño con el uso de escala la reproducibilidad es considerada alta debido a que los evaluadores estimaron porcentajes similares de severidad (Hernández y Sandoval, 2015). Los coeficientes de determinación obtenidos entre los diferentes evaluadores variaron en el rango de 0.90 a 0.97 por lo que la escala diagramática propuesta para evaluar la roya del haba se ajusta bien a los valores reales de severidad, que son similares al compararse con el valor del software ©ASSESS 2.0 con un valor de 0.98, lo que refleja una alta precisión entre los evaluadores, en donde se muestra que, tanto de manera visual, como a través del software ©ASSESS 2.0, los evaluadores tuvieron un alto nivel de acierto, reduciendo los errores absolutos (Figura 2), lo que concuerda con lo reportado en el sistema regional de evaluación de severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en

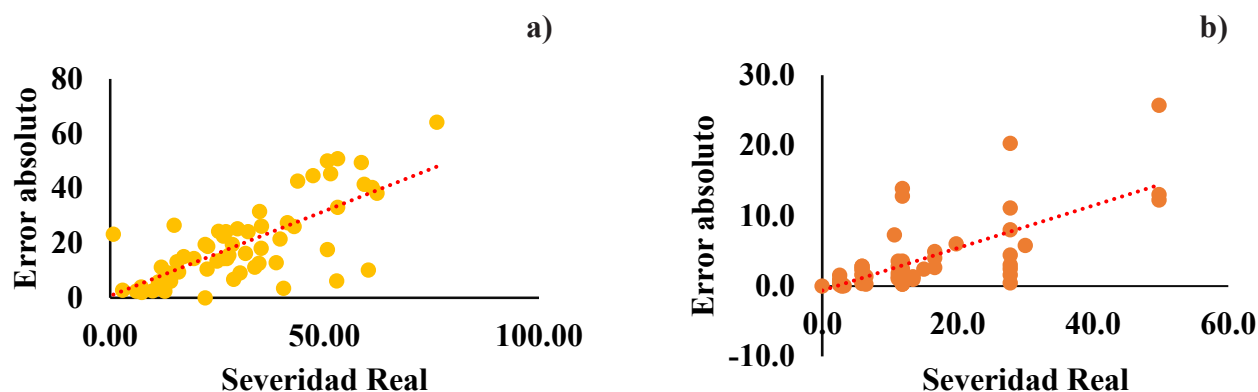


Figure 2. Actual severity vs. absolute error of the disease quantification evaluations a) without proposed diagrammatic scale and b) with proposed diagrammatic scale.

Figura 2. Severidad real vs error absoluto obtenidos en las evaluaciones de cuantificación de la enfermedad a) sin escala diagramática propuesta y b) con escala diagramática propuesta.

which concentrates accuracy and precision data under an epidemiological surveillance system (DGSV-CNRF, 2018).

Regarding the null hypothesis ( $\beta_0=0$  or  $\beta_1=1$ ), the coefficient  $\beta_1$  was statistically close to 1 ( $P<0.01$ ) (Table 1) for most of the evaluators, indicating that the visual evaluation yielded results close to the actual values, even when there was a tendency to overestimate them. Acceptable levels of precision and accuracy ( $\beta_0$  and  $\beta_1$ ) were achieved when evaluating the severity of broad bean rust using the six-class diagrammatic severity scale. The largest absolute errors were obtained when no scale was used (Figure 2). Therefore, the diagrammatic logarithmic scale generated in the present study can be considered a standardized method of quantifying the severity of rust in broad bean plants. This scale could be used as reference material, for support in the evaluation of control methods, comparison of assays in different locations, reproducible epidemiological studies, and breeding programs trying to produce resistant broad bean varieties.

la que se concentran los datos de exactitud y precisión dentro de un sistemas de vigilancia epidemiológica (DGSV-CNRF, 2018).

Con base en la hipótesis de nulidad ( $\beta_0=0$  o  $\beta_1=1$ ), el coeficiente  $\beta_1$  fue estadísticamente cercano a 1 ( $P<0.01$ ) (Cuadro 1) para la mayoría de los evaluadores, indicando que la evaluación arroja resultados cercanos a los valores reales, aun cuando existe la tendencia a sobreestimar los mismos. Con la escala de severidad diagramática de seis clases generada para evaluar la severidad de la roya del haba se proporcionan niveles aceptables de precisión y exactitud ( $\beta_0$  y  $\beta_1$ ) en las estimaciones del daño; además, los mayores errores absolutos se obtuvieron sin el uso de escalas (Figura 2), por lo que la escala logarítmica diagramática obtenida en este estudio representa un método estandarizado de cuantificación de la severidad de roya en haba, que puede ser utilizada como material de apoyo en la evaluación de métodos de control, comparación de ensayos en diferentes localidades, estudios epidemiológicos reproducibles y en programas de mejoramiento hacia una posible resistencia en variedades de haba.



## ACKNOWLEDGMENTS

To the National Council of Science and Technology (CONACYT) for the scholarship granted in support of this project. To the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Mexico for providing academic support and lending its facilities to carry out this project. To the colleagues of the Specialty in Floriculture and the Master in Agricultural Sciences and Natural Resources for the support provided in the validation of this scale. To the agricultural producer Manuel Mendoza Malvárez, and to the Hernández Ramírez family for providing the plant material for this project.

## CITED LITERATURE

- ASSESS 2.0. 2021. Image Analysis Software for Plant Disease Quantification. Disponible en línea: <https://doi.org/10.1094/assesshelp>
- Belan L, Pozza E, Freitas M, Souza R, Jesus J and Oliveira J. 2014. Diagrammatic scale for assessment of bacterial blight in coffee leaves. *Journal of Phytopathology* 162:801-810. <https://doi.org/10.1111/jph.12272>
- 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>
- DGSV-CNRF. 2018. Manual Técnico operativo 2018, para la Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria en el cultivo del café. <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Roya%20caféto/Estrategia%20operativa/ManualOperativoRoyaCafeto.pdf>.
- Gautam AK, Payal, Avasthi S and Verma RK. 2022. Biology, disease development, distribution, and control of rust pathogen *Uromyces viciae-fabae*. *Plant Pathology & Quarantine* 12(1): 60–76. <https://doi.org/10.5943/ppq/12/1/5>
- Godoy CV, Koga LJ and Canteri MG. 2006. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira* 31:063-068. <https://www.scielo.br/j/fb/a/7zsWfRPH6xXNGHjsS4ZSNwN/?format=pdf&lang=en>
- Hernández RL y Sandoval IJS. 2015. Escala Diagramática de Severidad para el Complejo Mancha de Asfalto del Maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33(1): 95-103. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v33n1/2007-8080-rmfi-33-01-00095.pdf>
- Lavilla M, Ivancovich A and Díaz-Paleo A. 2022. Diagrammatic scale for assessment the severity of *Cercospora* leaf blight on soybean (*Glycine max*) leaflets. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1). <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.43338>

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para llevar a cabo este proyecto. A la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México por brindarme el apoyo académico y sus instalaciones para llevar a cabo este proyecto. A los compañeros de la Especialidad en Floricultura y de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por el apoyo brindado en la validación de la presente escala. Al productor Manuel Mendoza Malvárez, la familia Hernández Ramírez, por brindar el material vegetal para el presente proyecto.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

- López RM. 2013. Tecnología de producción del Cultivo de haba para el Estado de México. ICAMEX grupo produce Estado de México. 71 p.
- 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(2): 174–184. <https://doi.org/10.1080/07060669509500709>
- Nutter FWJ, Esker PD and Coelho-Netto RA. 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://doi.org/10.1007/s10658-005-1230-z>
- Ortega-Acosta SA, Velasco-Cruz C, Hernández-Morales J, Ochoa-Martínez DL and Hernández-Ruiz J. 2016. Diagrammatic 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>
- Rico JC, Quiñones EE, Rincón G, Guizar C, Morales JL, Gómez N and López L. 2019. Qualitative severity scale of *Xanthomonas vesicatoria* in chile plants cultivar Becán. *Biotechnología y Sustentabilidad* 4:47-54. <https://revistas.uaz.edu.mx/index.php/bioteconologiaysust/article/view/680/666>
- SAS Institute. 2002. The SAS system for windows. Release 9.0. SAS Institute. North Carolina, USA.
- Scapin BCR, Angelotti F, Vieira RA, Bogo A, Tessmann DJ and Perreira de Bem B. 2014. Elaboration and validation of a diagrammatic scale to assess downy mildew severity in grapevine. *Ciencia Rural*, Santa María 44: 1384-1391. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131548>.
- SIAP 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap>
- Stavely JR. 1984. Pathogenic Specialization in *Uromyces Phaseoli* in the United States and Rust resistance in beans. *Plant Disease* 68(2):95-99. [https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1984Articles/PlantDisease68n02\\_95.PDF](https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1984Articles/PlantDisease68n02_95.PDF)