

# Diagrammatic scale for quantification of rust severity in teak leaves

## Escala diagramática para cuantificación de la severidad de la roya en hojas de teca

**Leila Cristiane-Delmadi\***, Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Rua São Jorge, 586 - Casa 04, Bairro Cavahada, CP. 78200-000, Cáceres, Mato Grosso, Brasil; **Cristiane de Pieri, Alex Sander-Porcena, Edson Luiz-Furtado**, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Produção Vegetal, CP. 18610-307, Botucatu, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondencia: leila.delmadi@unemat.br.

**Recibido:** 23 de Agosto, 2017.

**Aceptado:** 26 de Abril, 2018.

Cristiane-Delmadi L, Cristiane de Pieri, Sander-Porcena A, Luiz-Furtado E. 2018. Diagrammatic scale for quantification of rust severity in take leaves. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(2): 331-341.  
**DOI:** 10.18781/R.MEX.FIT.1708-5

Primera publicación DOI: 04 de Mayo, 2018.  
First DOI publication: May 04, 2018.

**Resumen.** La roya de la teca (*Tectona grandis*), causada pelo fungo *Olivea tectonae*, se ha presentado en varias regiones de Brasil en casos graves que conducen a la caída prematura de las hojas e incluso la muerte de la planta. Sin embargo, todavía no existe un método estándar para la evaluación de la severidad de la enfermedad en el campo. El objetivo de este estudio fue desarrollar y validar una escala diagramática para cuantificar la severidad de la roya en hojas de teca. La escala diagramática se desarrolló en función de la severidad de la enfermedad que abarca 0, 2.5, 5, 10, 20, 40 y 80% del área foliar con síntomas de roya. La escala fue validada por 10 evaluadores, que analizaron 50 hojas

**Abstract.** Teak (*Tectona grandis*) rust, caused by the fungus *Olivea tectonae*, has been present in several regions of Brazil in severe cases that lead to the premature fall of the leaves and even the death of the plant. However, there is still no standard method for assessment of disease severity in the field. The objective of this study was to develop and validate a diagrammatic scale to quantify the rust severity in leaves of teak. The diagrammatic scale was developed based on disease severity encompassing 0, 2.5, 5, 10, 20, 40 and 80% of the leaf area with rust symptom. The scale was validated by 10 raters, who analyzed 50 leaves with a range of disease severity, without and with diagrammatic scale as an assessment aid. The raters presented differences in the perception of the severity levels of the disease. With the adoption of the diagrammatic scale all the raters improved the accuracy of the estimates, there was a reduction in the absolute errors and good estimates of repeatability. The proposed diagrammatic scale is suitable for the evaluation of the rust severity in teak leaves, being able to provide accuracy and repeatability of estimates.

con un rango de severidad de la enfermedad, sin y con escala diagramática como ayuda de evaluación. Los evaluadores presentaron diferencias en la percepción de los niveles de severidad de la enfermedad. Con la adopción de la escala diagramática todos los evaluadores mejoraron la precisión de las estimaciones, hubo reducción en los errores absolutos y buenas estimaciones de repetitividad. La escala diagramática propuesta es adecuada para la evaluación de la severidad de la roya en las hojas de teca, siendo capaz de proporcionar precisión y repetitividad de las estimativas.

**Palabras clave:** *Tectona grandis*, *Olivea tectonae*, evaluación de enfermedad.

El sector forestal brasileño tiene un gran potencial de crecimiento, por menor costo, ciclo de producción, mayor productividad, y las variables menos activas a las fluctuaciones en el mercado financiero. Brasil resume las ventajas competitivas con respecto a otros países en el sector forestal, debido a sus favorables condiciones naturales, avances científicos y al espíritu empresarial, lo que resulta en un alto potencial de crecimiento (AMATA, 2009; ABRAF, 2013). Una especie que se ha destacado en el sector forestal, especialmente en el mercado exterior es la teca (*Tectona grandis*), originaria de la India, Myanmar, Tailandia y Laos. Es una especie de clima tropical húmedo, con lluvias de verano e invierno seco. En Brasil la teca se desarrolla mejor en zonas con precipitación media anual entre 1250 y 2500 mm y con temperatura media de 24 °C. Un periodo seco de tres a cinco meses favorece la calidad de la madera (Cáceres Florestal, 1997; EMBRAPA, 2007).

Varios estudios indican que la teca ha presentado patologías en las plantaciones internacionales y en Brasil. Estas enfermedades preocupan a

**Key words:** *Tectona grandis*, *Olivea tectonae*, disease assessment.

The Brazilian forestry sector has a great potential for growth due to lower costs, production cycles, a higher productivity, and the variables that are less active to fluctuations in the finance market. Brazil has all competitive advantages of other countries in the forestry sector, due to its favorable natural conditions, scientific advances, and the entrepreneurial spirit, which results in a high growth potential (AMATA, 2009; ABRAF, 2013). A species that has stood out in the forestry sector, and particularly in the foreign market, is the teak (*Tectona grandis*), originally from India, Myanmar, Thailand and Laos. It is species that flourishes in humid tropical climates with summer rains and dry winters. In Brazil, the teak grows best in areas with average annual rainfalls ranging between 1250 and 2500 mm and with an average temperature of 24 °C. A dry period of three to five months favors the quality of the wood (Cáceres Florestal, 1997; EMBRAPA, 2007).

Various studies indicate that the teak has presented pathologies in Brazilian and international plantations. These diseases worry producers of this crop throughout the country, particularly, teak rust, given its aggressiveness (Pieri *et al.*, 2011). The disease presents yellow and powdery-looking pustules on the surface of the underside, and a premature defoliation takes place in all phenological phases of the culture, reducing the speed of growth of the plant, causing a reduction of the photosynthetic rate, and consequently impacting the rate of wood production (Arguedas-Gamboa, 2004).

This disease was first reported in the American continent in Panama, in November 2003; later, in Costa Rica in January 2004 (Arguedas-Gamboa,

productores de este cultivo en todo el país, en especial la roya de la teca, dada su agresividad (Pieri *et al.*, 2011). La enfermedad presenta pústulas de color amarillo y de aspecto polvoso en la superficie del envés, y se produce una defolia prematura en todas las fases fenológicas de la cultura, reduciendo la velocidad de crecimiento de las plantas, ocasionando reducción de la tasa fotosintética y consecuentemente influenciando en la producción de madera (Arguedas-Gamboa, 2004).

En el continente Americano, esta enfermedad fue reportada por primera vez en Panamá en noviembre de 2003, posteriormente en Costa Rica en enero de 2004 (Arguedas-Gamboa, 2004), en Ecuador en septiembre y en México en diciembre 2005 (NAPPO, 2005). En 2005 se registró en Colombia (Céspedes y Yepes, 2007) y en 2006 en Cuba (Pérez *et al.*, 2008). El primer reporte de esta enfermedad en Brasil fue en 2009 y posteriormente fue constatada en varios municipios de diferentes estados brasileños (Pieri *et al.*, 2011).

Los métodos adecuados para la evaluación de la enfermedad deben permitir un mayor grado de exactitud, precisión y repetitividad, por lo que tales métodos varían según el agente causal de la enfermedad (Berger, 1980). La severidad es la variable utilizada en el caso de enfermedades foliares y la cuantificación de esta variable es crucial para dar subsidios a diversas acciones en la agricultura, como los estudios epidemiológicos, evaluar las estrategias de control, seleccionar genotipos resistentes y realizar pruebas con productos agroquímicos (Campbell y Madden, 1990). La evaluación de la severidad se lleva a cabo normalmente de manera subjetiva por medio de análisis visuales, por lo tanto, la escala diagramática se ha convertido en una herramienta importante en estos estudios (Kranz, 1988; Nutter Jr. *et al.*, 2006). Las escalas se usan en la normalización de la estimación visual, por lo que la evaluación es más precisa

(2004); in Ecuador in September, and in Mexico in December 2005 (NAPPO, 2005). In 2005, it was reported in Colombia (Céspedes and Yepes, 2007), and in 2006, in Cuba (Pérez *et al.*, 2008). The first report of this disease in Brazil took place in 2009 and was later verified in several municipal areas of different Brazilian states (Pieri *et al.*, 2011).

The appropriate methods for the evaluation of the disease must allow a greater degree of accuracy, precision and repetitiveness, therefore such methods vary depending on the causal agents of the disease (Berger, 1980). Severity is the variable used in the case of foliar diseases and the quantification of this variable is crucial for subsidizing different actions in agriculture, such as epidemiological studies, evaluations of control strategies, selecting resistant genotypes and carrying out tests with agrochemical products (Campbell and Madden, 1990). The evaluation of severity is normally carried out in a subjective manner through visual analyses, and therefore the diagrammatic scales have become an important tool in these studies (Kranz, 1988; Nutter Jr. *et al.*, 2006). Scales are used in the normalization of the visual estimation; therefore, the evaluation is more precise and accurate between evaluators and it reduces errors in visual estimations (Campbell and Madden, 1990).

Some of the most important characteristics in a diagrammatic scale are the ease of use, applicability in the face of a large variety of conditions with reproducible results, and the existence of intervals that represent all the stages of development of the disease (Berger, 1980; Bergamin Filho and Amorim, 1996).

Proposing a standardized system to orient the evaluation of the severity of a particular disease is an important responsibility, since, if the system is deficient, the cost of its use may be higher than the benefits obtained with its use (Leite and Amorim, 2002; Nutter Jr. and Schultz, 1995). However,

y exacta entre los evaluadores y reduce el error en la estimación visual (Campbell y Madden, 1990).

Entre las características más importantes en una escala diagramática se encuentran: facilidad de uso, aplicabilidad ante una amplia gama de condiciones con resultados reproducibles y la existencia de intervalos que representan todas las etapas de desarrollo de la enfermedad (Berger, 1980; Bergamin Filho y Amorim, 1996).

La propuesta de establecer un sistema estandarizado para orientar la evaluación de la severidad de una determinada enfermedad es de gran responsabilidad, pues, si el sistema es deficiente, el costo de su utilización puede ser mayor que los beneficios alcanzados con su uso (Leite y Amorim, 2002; Nutter Jr. y Schultz, 1995). Sin embargo, la estandarización es altamente deseable, pues la uniformización de la metodología de evaluación de enfermedades permite comparaciones entre los resultados obtenidos en diferentes instituciones y localidades (Bergamin Filho y Amorim, 1996).

Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo el desarrollo y la validación de una escala diagramática para cuantificar la roya de teca en campo.

Para la realización de este trabajo, se utilizaron 200 hojas adultas de teca colectadas en la plantación experimental en la Hacienda Lageado - UNESP/FCA (Botucatu, São Paulo, Brasil) con 10 años de edad y en la empresa Tropical Flora (Garça, São Paulo, Brasil), las cuales presentaban diferentes niveles de daño por la roya; además, de hojas sanas.

Posteriormente las hojas fueron escaneadas para análisis y preparación de la escala. Cada hoja se evaluó de acuerdo a la relación de área enferma y la severidad real de la enfermedad en porcentaje. El área afectada y área foliar sana fueron determinadas en RGB (rojo, verde, azul) con base en la metodología utilizada por Masson *et al.* (2008). Posteriormente, los niveles intermedios de la escala de severidad se determinaron de acuerdo con la ley

a standardization of the disease evaluation methodology is highly desirable, since it helps compare results obtained in different institutions and locations (Bergamin Filho and Amorim, 1996).

The aim of this study, therefore, was to develop and validate a diagrammatic scale to quantify teak rust in the field.

In order to do this, 200 adult teak leaves, aged 10 years, were gathered in an experimental field in the Hacienda Lageado - UNESP/FCA (Botucatu, São Paulo, Brasil) in the Tropical Flora company (Garça, São Paulo, Brasil), all of which presented different levels of damage due to rust; they were collected along with healthy leaves.

Each leaf was evaluated according to the proportion of the diseased area and the real severity of the disease, as a percentage. The healthy and affected areas were determined in RGB (red, green, blue) based on the methodology described by Masson *et al.* (2008). Later, the intermediate levels of the scale of severity were determined according to the Weber-Fechner law (Horsfall and Barratt, 1945).

The scale was validated by 10 evaluators, who analyzed 50 digital images of adult teak leaves, both healthy and with symptoms of rust at different levels of severity. The evaluators had different levels of experience, some with previous knowledge of a scale, and others without experience or knowledge.

Each image of a leaf was projected for the evaluators using Power Point for 30 seconds in two stages: the first observation was performed without the use of a diagrammatic scale; the evaluators carried out the evaluation by placing a value, expressed as a percentage, in a previously established format. In the second stage, the evaluators received a new format along with the diagrammatic scale for reference. The images of the 50 teak leaves were projected for their evaluation against the scale.

de la agudeza visual de Weber-Fechner (Horsfall y Barratt, 1945).

La validación de la escala se realizó por 10 evaluadores que analizaron 50 imágenes digitales de hojas adultas de teca, sanas y con síntomas de roya en diferentes niveles de severidad. Los evaluadores presentaban diferentes niveles de experiencia, algunos con conocimiento previo de una escala y otros sin experiencia y desconocimiento.

Cada imagen de una hoja fue proyectada a los evaluadores a través del programa Power Point, por 30 segundos en dos etapas: la primera observación se realizó sin el uso de la escala diagramática, los evaluadores realizaron la evaluación colocando un valor expresado en porcentaje en un formato previamente establecido. En la segunda etapa, los evaluadores recibieron un nuevo formato junto con la escala diagramática para su referencia, nuevamente se proyectaron las imágenes de las 50 hojas de teca para ser evaluadas con respecto a la escala.

Con la información obtenida de las evaluaciones con y sin escala se determinó la precisión de las estimaciones obtenidas mediante el cálculo del coeficiente de determinación de exactitud y la varianza de los errores absolutos. Se realizó un análisis por regresión lineal simple, teniendo en cuenta la severidad real como la variable independiente y la estimada como variable dependiente. La precisión de las estimaciones se evaluó mediante el coeficiente de determinación o precisión ( $r^2$ ) y la varianza de los errores absolutos (severidad estimada menos real) (Kranz, 1988; Nutter Jr. *et al.*, 1993).

La escala diagramática de la roya de la teca presenta siete niveles de severidad en función de la distribución de la muestra: N0 = 0% (sin síntomas o signos); N1 = 2,5%; N2 = 5%; N3 = 10%; N4 = 20%; N5 = 40%; N6 = 80%, de manera exponencial, de acuerdo con la ley de Weber-Fechner como se muestra en la Figura 1.

Using the information obtained from the evaluations with and without scales, we determined the precision of the estimations obtained by calculating the coefficient of determination of the accuracy and the variance of absolute errors. A simple linear regression analysis was carried out, considering the real severity as the independent variable and the estimated severity, as the dependent variable. The precision of the estimations was evaluated using the precision or determination coefficient ( $r^2$ ) and the variance of the absolute errors (estimated severity minus real severity) (Kranz, 1988; Nutter Jr. *et al.*, 1993).

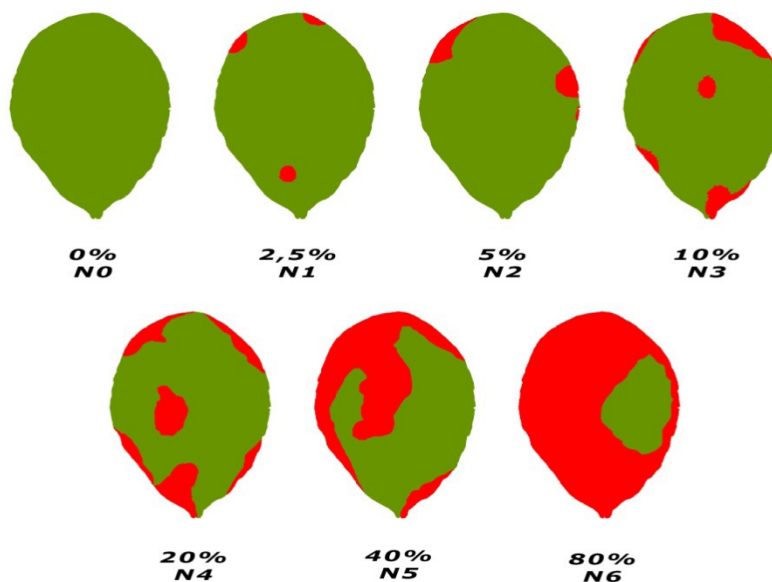
The diagrammatic scale of teak rust presented seven severity levels, based on the distribution of the sample: N0 = 0% (no symptoms or signs); N1 = 2.5%; N2 = 5%; N3 = 10%; N4 = 20%; N5 = 40%; N6 = 80%, exponentially, according to the Weber-Fechner law, as shown in Figure 1.

In the validation of the diagrammatic scale, the 10 evaluators presented differences in the perception of the severity levels of the disease. The evaluators presented a good accuracy, with and without scales, due to the estimated severity values being near the real values. Absolute errors decreased when the diagrammatic scale was used as an aid for evaluation (Figure 2).

The evaluators displayed adequate estimations for repetitiveness, which can be viewed in the results of the regression between the first and second evaluation (with and without a scale). Due to the proximity of the estimated severity values and the real intensity values, the validation obtained very promising results (Figure 2).

The severity estimated using the scale and the regression lines obtained between the actual value and the estimation (continuous line) of rust in adult teak leaves are shown in Figure 2. The intercept (a) and slope coefficients (b) and determination  $r^2$ ,





Escala diagramática para quantificação da severidade de *Oliveae neotectonae* em *Tectona grandis* L. (TECA).  
Valores em porcentagem de área foliar com es sintomas.

Figura 1. Escala diagramática para la evaluación de la severidad de la roya de la teca causada por el hongo *Oliveae tectonae*. Valores en porcentaje de área foliar con síntomas.

Figure 1. Diagrammatic scale for the evaluation of the severity of teak rust cause by the fungus *Oliveae tectonae*. Values in percentages of leaf area with symptoms.

En la validación de la escala diagramática, los 10 evaluadores presentaron diferencias en la percepción de los niveles de severidad de la enfermedad. Los evaluadores presentaron buena precisión, con y sin escala, debido a que los valores de severidad estimados estaban cerca de los valores reales. Hubo una reducción en los errores absolutos cuando se utilizó la escala diagramática como una ayuda para la evaluación (Figura 2).

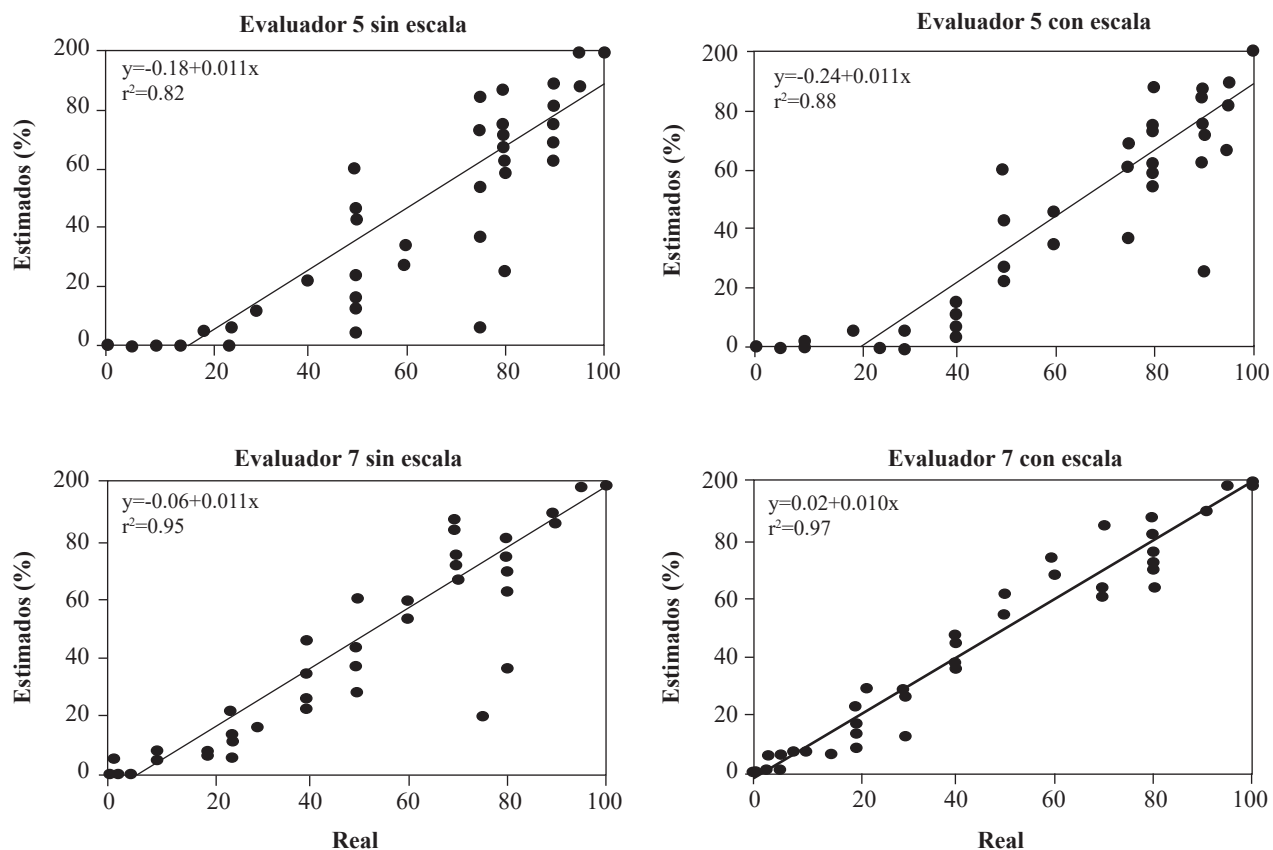
Los evaluadores mostraron buenas estimaciones de repetitividad, que se pueden ver en los resultados de la regresión entre la primera y la segunda evaluación (con y sin escala). Debido a la proximidad de los valores de severidad estimados a los valores de la intensidad real, la validación obtuvo resultados muy prometedores (Figura 2).

obtained in the regressions between the real and the estimated, with and without the use of a diagram, are shown in Table 1.

There was a reduction in the absolute errors when the diagrammatic scale was used as an aid for evaluation (Figure 2).

With the adoption of the diagrammatic scale proposed, all evaluators improved the precision of the estimations ( $r^2=0.93$ ) in comparison with the result obtained without the use of the scale ( $r^2=0.88$ ).

Similar values between the estimated and real valued determine the accuracy of the evaluations. Precision is a factor to consider in the validation of a diagram scale, and it is defined as the precision or fan operation that supposed rigor and accuracy.



**Figura 2.** Validación estadística de la escala diagramática para evaluar la severidad de la roya de la teca. Los evaluadores 5 y 7 fueron seleccionados para representar el análisis de regresión lineal entre la severidad real y la estimada con y sin usar la escala diagramática. Esos evaluadores tenían la precisión más baja y más alta ( $r^2$ ), respectivamente.

**Figure 2.** Statistical validation of the diagrammatic scale to assess teak rust severity. Evaluators 5 and 7 were selected to represent the linear regression analysis between actual and estimated severity with and without using the diagrammatic scale. Those evaluators had the lowest and highest precision ( $r^2$ ), respectively.

La severidad estimada con la ayuda de la escala y las líneas de regresión obtenidas entre el valor actual y el estimado (línea continua) a la roya en las hojas adultas de la teca se muestran en la Figura 2. Los coeficientes angulares (a), lineales (b) y de determinación  $r^2$ , obtenidos en las regresiones entre lo real y el estimado, con y sin el uso de diagrama se presentan en el Cuadro 1.

Hubo una reducción en los errores absolutos cuando se utilizó la escala diagramática como una ayuda para la evaluación (Figura 2).

Con la adopción de la escala diagramática propuesta, todos los evaluadores mejoraron la precisión

Precision can be evaluated by determining the coefficient of regression analysis, which must be near to 1, and by the variation of absolute error (difference between estimated and real severity) (Bergamin Filho and Amorim, 1996).

The difference between evaluators in the quantification of teak rust confirms observations by Nutter Jr. and Schultz (1995) regarding the variation in the ability between individuals to discriminate disease levels. The quality of the disease estimation is not only influenced by stimuli and psychological answers but can also be affected by factors such as the complexity of the sampling unit, size and

**Cuadro 1.** Intercepción (a), pendiente (b) y coeficiente de determinación ( $r^2$ ) obtenidos de una regresión lineal simple entre valores reales y estimaciones de severidad de roya de la teca realizados por diez evaluadores mediante el uso, y sin uso, de la escala diagramática.

**Table 1.** Intercept (a), slope (b) and determination coefficient ( $r^2$ ) obtained with simple linear regression between real values and estimations of teak rust severity for ten evaluators with and without using the diagrammatic scale.

Escala	Coeficientes	Evaluadores										
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	Media
Sin	a	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	b	0.05	0.12	0.07	0.04	0.18	0.11	0.06	0.07	0.01	0.17	0.09
	$r^2$	0.89	0.87	0.87	0.86	0.82	0.92	0.95	0.87	0.91	0.86	0.88
Con	a	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	b	0.04	0.11	0.02	0.03	0.24	0.01	0.02	0.01	0.01	0.09	0.06
	$r^2$	0.93	0.91	0.93	0.93	0.88	0.97	0.97	0.93	0.94	0.92	0.93

de las estimaciones ( $r^2=0.93$ ) en comparación con el resultado obtenido sin el uso de la escala ( $r^2=0.88$ ).

Valores similares entre los valores estimados y los reales determinan la exactitud de las evaluaciones. La precisión es un factor a considerar en la validación de una escala diagrama, y se define como la precisión de una operación que suponga el rigor y la exactitud. La precisión se puede evaluar mediante la determinación del coeficiente de análisis de regresión, que debe estar cerca de 1, y por la variación de error absoluto (diferencia entre la severidad estimada y real) (Bergamin Filho y Amorim, 1996).

La diferencia entre los evaluadores en la cuantificación de la roya de la teca confirma las observaciones de Nutter Jr. y Schultz (1995) en cuanto a la variación en la habilidad entre individuos para discriminar niveles de enfermedad. La calidad de la estimación de la enfermedad, además de ser influenciada por estímulos y respuestas psicológicas, puede ser afectada por factores como la complejidad de la unidad de muestreo, tamaño y forma de las lesiones, color y número de lesiones en la unidad de muestreo (Kranz, 1988), fatiga y dificultad concentración en la tarea (Shokes *et al.*, 1987).

La mejora en la precisión de las estimaciones de la severidad de la roya en hojas de teca con la utilización de la escala diagramática se asemeja a

shapes of the lesions, color and number of lesions in the sampling unit (Kranz, 1988), fatigue and difficulty of concentration on the task (Shokes *et al.*, 1987).

The improvement in the accuracy of the estimations of the severity of rust in teak leaves with the use of the diagrammatic scale is similar to the results obtained in several studies carried out earlier, involving other pathosystems (Del Ponte *et al.*, 2017).

Even without the use of the diagrammatic scale, evaluators presented good levels of accuracy in the estimations, similar to the one confirmed in the validation of diagrammatic scales for rust in coffee (Capucho *et al.*, 2011), sugarcane (Klosowski *et al.*, 2013), bean (Godoy *et al.*, 1997), soybean (Godoy *et al.*, 2006) and grapevine (Angelotti *et al.*, 2008), and may be a result of the ease of evaluation of the severity of the disease, due to the size of the rust pustules on leaves.

The evaluators presented certain levels of absolute errors in the estimations, even with the use of the diagrammatic scale. However, according to statements by Stonehouse (1994), the presence of some level of error in the evaluations may be compensated by the speed and standardization that result from the use of diagrammatic scales. Likewise, as in most disease severity quantification



los resultados obtenidos en varios estudios realizados previamente involucrando otros patosistemas (Del Ponte *et al.*, 2017).

Incluso sin la utilización de la escala diagramática los evaluadores presentaron buena precisión en las estimaciones, que se asemeja al constatado en la validación de escalas diagramáticas para royas en café (Capucho *et al.*, 2011), caña de azúcar (Klowsowski *et al.*, 2013), frijol (Godoy *et al.*, 1997), soya (Godoy *et al.*, 2006) y vid (Angelotti *et al.*, 2008), y pueden ser resultado de la facilidad de evaluación de la severidad de la enfermedad debido al tamaño de las pústulas de roya en las hojas.

Los evaluadores presentaron determinados niveles de errores absolutos en las estimaciones incluso con la utilización de la escala diagramática. Sin embargo, Conforme a lo destacado por Stonehouse (1994), la presencia de algún nivel de error absoluto en las evaluaciones puede ser compensado por la rapidez y estandarización que resultan del uso de escalas diagramáticas. Además, como la mayoría de los métodos de cuantificación de severidad de enfermedades, el uso de escalas diagramáticas está sujeto a cierto grado de subjetividad, lo que puede ser minimizado con el entrenamiento de los evaluadores (Nutter Jr. y Schultz, 1995; Nutter *et al.*, 2006).

La mejora en la repetitividad de las estimaciones de severidad de la enfermedad, como obtenida en este estudio con la utilización de la escala diagramática, es una característica importante en el desarrollo de métodos estándar de evaluación de enfermedades, pues indica que evaluaciones realizadas en diferentes momentos por un mismo evaluador presenta elevada precisión (Campbell y Madden, 1990).

La escala diagramática propuesta y validada en este estudio atiende a varios ítems listados en reciente artículo (Del Ponte *et al.*, 2017) sobre las mejores prácticas para la conducción de desarrollo

methods, the use of diagrammatic scales is subjected to a certain degree of subjectivity, which can be minimized by training the evaluators (Nutter Jr. and Schultz, 1995; Nutter *et al.*, 2006).

The improvement in the repeatability of the disease severity estimations, as obtained in this study with the use of the diagrammatic scale, is important in developing standard disease evaluation methods, since it indicates that evaluations performed in different moments by a same evaluator presents a higher level of accuracy (Campbell and Madden, 1990).

The diagrammatic scale proposed and validated in this study serves various items listed in a recent article (Del Ponte *et al.*, 2017) on the best practices for conducting and validating diagrammatic scales to quantify plant diseases.

## CONCLUSIONS

The diagrammatic scale proposed is adequate for the evaluation of the severity of rust in teak leaves, since it is able to provide accuracy and repeatability of the estimations. This standard procedure may be highly valuable for applying in field surveys, in epidemiological Studies, and the evaluation of disease control measures.

~~~~~ End of the English version ~~~~~

y validación de escalas diagramáticas para cuantificación de enfermedades de plantas.

## CONCLUSIONES

La escala diagramática propuesta es adecuada para la evaluación de la severidad de la roya en las

hojas de teca, siendo capaz de proporcionar precisión y repetitividad das estimativas. Este procedimiento estándar puede ser de gran valor para la aplicación en las encuestas de campo, en los estudios epidemiológicos y en la evaluación de las medidas de control de la enfermedad.

## LITERATURA CITADA

- ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 2013. Anuário estatístico da ABRAF 2013 - Ano base 2012. Disponible en línea: <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf> (consulta, agosto 2017).
- AMATA. 2009. Mercado de bosques plantados. São Paulo, Brasil. Disponible en línea: [www.amatabrasil.com.br/download-arquivo?id=588](http://www.amatabrasil.com.br/download-arquivo?id=588) (consulta, julio 2017).
- Angelotti F, Scapin CR, Tessmann DJ, Vida JB, Oliveira RR and Canteri MG. 2008. Diagrammatic scale for assessment of grapevine rust. *Tropical Plant Pathology* 33:439-443. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762008000600006>
- Arguedas-Gamboa M. 2004. La roya de la teca *Olivea tectonae* (Rac.): consideraciones sobre su presencia en Panamá y Costa Rica. *Revista Forestal* 1:1-16. Disponible en línea: <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/600/2818>
- Bergamin Filho A y Amorim L. 1996. Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. *Agronômica Ceres*. São Paulo, Brasil. 299p.
- Berger RD. 1980. Measuring disease intensity. Pp: 28-31. *In: Teng PS and Krupa SV* (eds.). *Crop Loss Assessment Which Constrain Production and Crop Improvement in Agriculture and Forestry*. University of Minnesota Press. St. Paul, USA. 269p.
- Cáceres Florestal. 1997. Manual do cultivo da teca. Disponible en línea: [http://www.caceresflorestal.com.br/Manual\\_do\\_cultivo\\_da\\_teca-Caceres\\_Florestal.pdf](http://www.caceresflorestal.com.br/Manual_do_cultivo_da_teca-Caceres_Florestal.pdf) (consulta, mayo 2017).
- Campbell CL and Madden LV. 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley & Sons. New York, USA. 532p. <https://doi.org/10.1017/S0007485300051890>
- Capucho AS, Zambolim L, Duarte HSS and Vaz GRO. 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>
- Céspedes PB y Yepes MS. 2007. Nuevos registros de royas (uredinales) potencialmente importantes en Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 60:3645-3655. DOI: 10.15446/rfnam
- Del Ponte EM, Pethybridge SJ, Bock CH, Michereff SJ, Machado FJ and Spolti P. 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>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2007. Sistema de produção de teca para o Estado de Rondônia. Disponible en línea: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/698944/1/spteca.pdf> (Consulta, febrero 2016).
- Godoy CV, Carneiro SMTGP, Iamauti MT, Pria MD, Amorim L, Berger RD and Bergamin Filho A. 1997. Diagrammatic scales for bean diseases: development and validation. *Journal of Plant Disease and Protection* 104:336-345. <https://pdfs.semanticscholar.org/525b/8b3e232bd5781f9b4f670c98e5f376779d2e.pdf>
- Godoy CV, Koga LJ and Canteri MG. 2006. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira* 31:63-68. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582006000100011>
- Klosowski AC, Ruaro L, Besspalhok Filho JC y May De Mio LL. 2013. Proposta e validação de escala para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. *Tropical Plant Pathology* 38:166-171. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762013000200012>
- Kranz J. 1988. Measuring plant disease. Pp: 35-50. *In: Kranz J and Rotem J* (eds.). *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology*. Springer-Verlag. Heidelberg: Germany. 299p.
- Leite RMVBC y Amorim L. 2002. Elaboração e validação de escala diagramática para mancha de *Alternaria* em girassol. *Summa Phytopathologica* 28:14-19.
- Horsfall JC and Barratt RW. 1945. An improved grading system for measuring plant diseases. *Phytopathology* 35:665.
- NAPPO, North American Plant Protection Organization. 2005. Pest Alert - Detección de la roya de la teca (*Olivea tectonae*), (Rac.) Thirum. Chaconiaceae, en el municipio de Las Choapas, Veracruz, México. Disponible en línea: <http://www.pestalert.org/espanol/oprDetail.cfm?oprID=142&keyword=Olivea%20tectonae> (consulta, febrero 2016).
- Nutter Jr. FW, 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>
- Nutter Jr. 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 Jr. FW, Gleason ML, Jenco JH and Christians NC. 1993. Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. *Phytopathology* 83:806-812. DOI: 10.1094/Phyto-83-806
- Pérez M, López MO and Marti O. 2008. *Olivea tectonae*, leaf rust of teak, occurs in Cuba. *New Diseases Reports* 17:32. Disponible en línea: <http://www.ndrs.org.uk/article.php?id=017032>
- Pieri C, Passador MM, Furtado EL y Carvalho Júnior AA. 2011. Ferrugem da teca (*Olivea neotectonae*): novas ocorrências no Brasil e revisão do nome específico. *Summa Phytopathologica* 37:199-201. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-54052011000400006>

Shokes FM, Berger RD, Smith DH, Rasp JM. 1987. Reliability of disease assessment procedures: a case study with late leafspot of peanut. *Oléagineux* 42:245-251.

Stonehouse J. 1994. Assessment of Andean bean diseases using visual keys. *Plant Pathology* 43:519-527. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb01586.x>