

Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del cafeto

La roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) es la enfermedad que causa la mayor pérdida económica al cultivo del café en el mundo, su único hospedante, principalmente en variedades de *Coffea arabica*. Afecta directamente las hojas disminuyendo el área fotosintética, causa fuerte defoliación, frutos de menor peso, debilita y causa muerte de ramas productivas y de la planta completa o el denominado “paloteo de los árboles”. Afecta la calidad y causa pérdidas en la cantidad de la producción que pueden ascender del 30% al 50% en variedades susceptibles como Caturra, Típica, Borbón, Geisha y algunos Catimores introducidos, entre otros de origen desconocido, en un ciclo de cuatro cosechas cuando no cuentan con un adecuado manejo (Rivillas *et al.*, 2011, 2017).





Cenicafé
Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

Juan Manuel López V.

Investigador Científico I
(hasta el 2018)

Gustavo Adolfo Marín R.

Investigador Científico I

Álvaro León Gaitán B.

Director Cenicafé

Carlos Ariel Ángel C.

Investigador Científico III

Disciplina de Fitopatología
Centro Nacional de Investigaciones
de Café, Cenicafé
Manizales, Caldas, Colombia

Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafé

Diagramación

Luz Adriana Álvarez Monsalve

Imprenta

ISSN-0120-0178

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8500707
A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org

Los síntomas inician como pequeñas manchas redondas de 2 a 4 mm de diámetro, de color amarillo clorótico en el envés de las hojas, lesiones que coalescen y ocupan áreas irregulares de más de 5 cm de diámetro, donde aparecen luego los signos del patógeno como urediniosporas en pústulas en el envés de la hoja, de color naranja intenso asemejándose a un polvillo anaranjado o color ladrillo. Estas urediniosporas son transportadas por el aire o el agua e infectan sitios adyacentes a la infección inicial, lo cual ocurre de forma repetida, formando lesiones que cubren mayor área (Rivillas *et al.*, 2011), y que cuando alcanzan más del 30% de la superficie de la hoja puede ocurrir su caída prematura, dependiendo de la edad y el estado nutricional de la misma.

Cuantificación de la enfermedad

La cuantificación de la intensidad de una enfermedad es fundamental para entender su importancia en función de las plantas afectadas, el medio ambiente, el clima, el manejo de la enfermedad y el cultivo. El seguimiento progresivo de la prevalencia, la incidencia y la severidad de una enfermedad como la roya, a través del tiempo, y su relación con el clima y la fenología del cultivo, es básico para el conocimiento de la magnitud y dinámica de la epidemia en un área determinada y en un período de tiempo dado (Campbell y Madden, 1990). La enfermedad puede medirse como:

Prevalencia

Es la proporción o porcentaje de fincas o lotes que presentan la enfermedad en un área o región, en un momento o lapso de tiempo determinado, es útil para indicar la dispersión de la enfermedad.

En el caso de la roya esta variable es poco funcional por ser una enfermedad endémica y generalizada en todas las regiones cafeteras.

Incidencia

Es la proporción o porcentaje de plantas u órganos afectados por la enfermedad en un lote o área, indicando el número de individuos u órganos de la muestra o población que presentan la enfermedad.

Esta es la variable de mayor uso y aplicación para la medición de roya en el campo, cuantificando el porcentaje de hojas afectadas en las ramas o en los árboles evaluados en un lote.

Severidad

Es la proporción o porcentaje de daño de tejidos o área afectada por la enfermedad en las plantas u órganos evaluados; es decir, el grado de afectación de los individuos u órganos de interés en la muestra o población. **En el caso de la roya del cafeto se mide como porcentaje de área afectada en las hojas evaluadas**, y es de amplia utilidad en epidemiología, resistencia y manejo.

Importancia actual de evaluar la severidad de la roya del cafeto en Colombia

Desde la llegada de la roya a Colombia en 1983, la variable más utilizada para medirla en el campo ha sido la incidencia, como porcentaje de hojas afectadas en las ramas en los diferentes tercios del árbol. Por otra parte, la medición de la severidad se ha enfocado principalmente a investigaciones sobre epidemiología y manejo de la enfermedad (Rivillas *et al.*, 2011, 2017; Villarraga y Baeza, 1987; Villegas, 1985).

Actualmente, la evaluación de la severidad adquiere mayor importancia en Colombia, teniendo en cuenta que para el 2018 cerca del 80% de las 884.000 hectáreas están sembradas con variedades compuestas resistentes a la enfermedad, como son Colombia, Castillo®, Cenicafé 1 y Tabi, desarrolladas por Cenicafé (FNC, 2018), las cuales basan su resistencia durable en diversidad genética al ser multilíneas y en altos niveles de resistencia incompleta, sin ser inmunes (Alvarado, 2011; Flórez *et al.*, 2016, 2018); es decir, se observan hojas con pústulas de roya en las diferentes líneas de café que las conforman, con una baja a moderada incidencia de la enfermedad. Al ser los componentes de la resistencia incompleta de carácter cuantitativo, se observa un menor número de lesiones de roya por hoja,

mayores períodos de incubación (aparición de síntomas), mayores períodos de latencia (tiempo a esporulación), menor densidad de esporulación y menores tamaño y área de la lesión (Alvarado, 2011; Peláez y Gil, 2000). Lo anterior lleva a una baja severidad en las hojas y plantas afectadas y a una menor epidemia, la cual no causa defoliación grave, ni afecta significativamente la producción y la calidad del café.

Sin embargo, el hongo patógeno continúa su proceso biológico dinámico normal de co-evolución sobre su hospedante, mutando y desarrollando razas o variantes compatibles, que progresivamente en el tiempo van a incrementar la incidencia y severidad de la enfermedad. La medición de severidad es entonces un aspecto a considerar, tanto en las investigaciones de Cenicafé como en las evaluaciones de diagnóstico nacional y monitoreo que se realizan periódicamente con el Servicio de Extensión de la FNC. De esta manera se integran los conceptos cuantitativos objetivos a la estrategia de la FNC “Más Agronomía, Más Productividad”, para una caficultura eficiente, altamente productiva, rentable y sostenible.

Escalas o diagramas de área estándar (DAE) para la estimación de severidad

Los métodos visuales para cuantificación de incidencia y severidad permiten aproximar una estimación al valor real de la enfermedad a un menor costo y tiempo, con alta calidad (Bock *et al.*, 2016; Madden *et al.*, 2007; Nutter y Schultz, 1995). Los **Diagramas de Área Estándar (DAE)** son los métodos visuales más utilizados, se basan en ilustraciones de partes de plantas enfermas dentro de un rango de valores medido en proporción o porcentaje de tejido afectado, como referencia comparativa y de interpolación durante la estimación (Bock *et al.*, 2016; Del Ponte *et al.*, 2017). Los DAE ayudan a reducir la subjetividad de las estimaciones de severidad, mejoran la exactitud y precisión de una evaluación, son fáciles de usar, no necesitan equipos, reducen los tiempos de evaluación, generan resultados confiables y son aplicables a una amplia gama de síntomas de una enfermedad. Las ventajas de los DAE como herramienta de estimación visual en la cuantificación de severidad han sido demostradas y validadas para muchas

enfermedades en diferentes cultivos de importancia económica en el mundo, incluyendo algunas en el cultivo del café (SADBank, 2018).

Para la roya del cafeto se conocen tres diagramas para la estimación cuantitativa de severidad de roya natural o en el campo, desarrollados por Kushalappa y Chaves (1980) en Brasil, Villegas (1985) en Colombia, y Capucho *et al.* (2011) en Brasil, los cuales han sido usados principalmente en investigaciones. En México usan una escala logarítmica diagramática de siete clases en imágenes para severidad de roya, en el programa de vigilancia epidemiológico del cafeto (Mora *et al.*, 2017; PVEF Cafeto, 2019). Sin embargo, la adopción y uso masivo o rutinario de estos diagramas han sido relativamente bajos o poco aceptados, debido a la subjetividad en las mediciones, complejidad, alto consumo de tiempo, falta de precisión e inexactitud en algunos casos.

Desarrollo de un DAE para la estimación visual cuantitativa de severidad de roya del café en el campo

Con el objetivo de mejorar las evaluaciones cuantitativas de severidad de roya del café en las diferentes investigaciones de Cenicafé sobre biología, epidemiología, resistencia genética y manejo integral de roya en Colombia, y para fortalecer el monitoreo de la enfermedad en variedades susceptibles y resistentes por parte del Servicio de Extensión de la FNC, asistentes técnicos y los caficultores, se desarrolló y validó un DAE nuevo para roya del café en el campo, comparándolo con los diagramas existentes (Kushalappa y Chaves, 1980; Villegas, 1985; Capucho *et al.*, 2011).

La investigación se hizo en cultivos de *C. arabica* var. Caturra (susceptible a roya) y Castillo® (con resistencia incompleta a roya) en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas) y en instalaciones de Cenicafé La Granja y Planalto (Manizales, Caldas).

El diseño del DAE se realizó siguiendo el modelo propuesto de Horsfall y Barratt (1945), para compensar los límites de la agudeza visual humana, observando la distribución normal de las frecuencias de severidad sobre las 500 hojas evaluadas, y se utilizaron análisis de imágenes y programas especializados para su procesamiento. El porcentaje de severidad de tejido afectado por la enfermedad encontrado sobre una hoja aún sujeta al árbol osciló entre 0,05% y 80,0%. Se construyó una distribución estadística de frecuencias con siete intervalos de severidad agrupados, del 0,05% al 1,4%, del 1,5% al 2,9%, del 3,0% al 5,9%, del 6,0% al 11,9%, del 12,0% al 23,9%, del 24,0% al 47,9% y del 48,0% al 80,0%, y se les asignó una marca de clase de puntos medios del 1,0%, 2,0%, 4,0%, 8,0%, 16,0%, 32,0% y 64,0% de severidad, respectivamente (Figura 1).

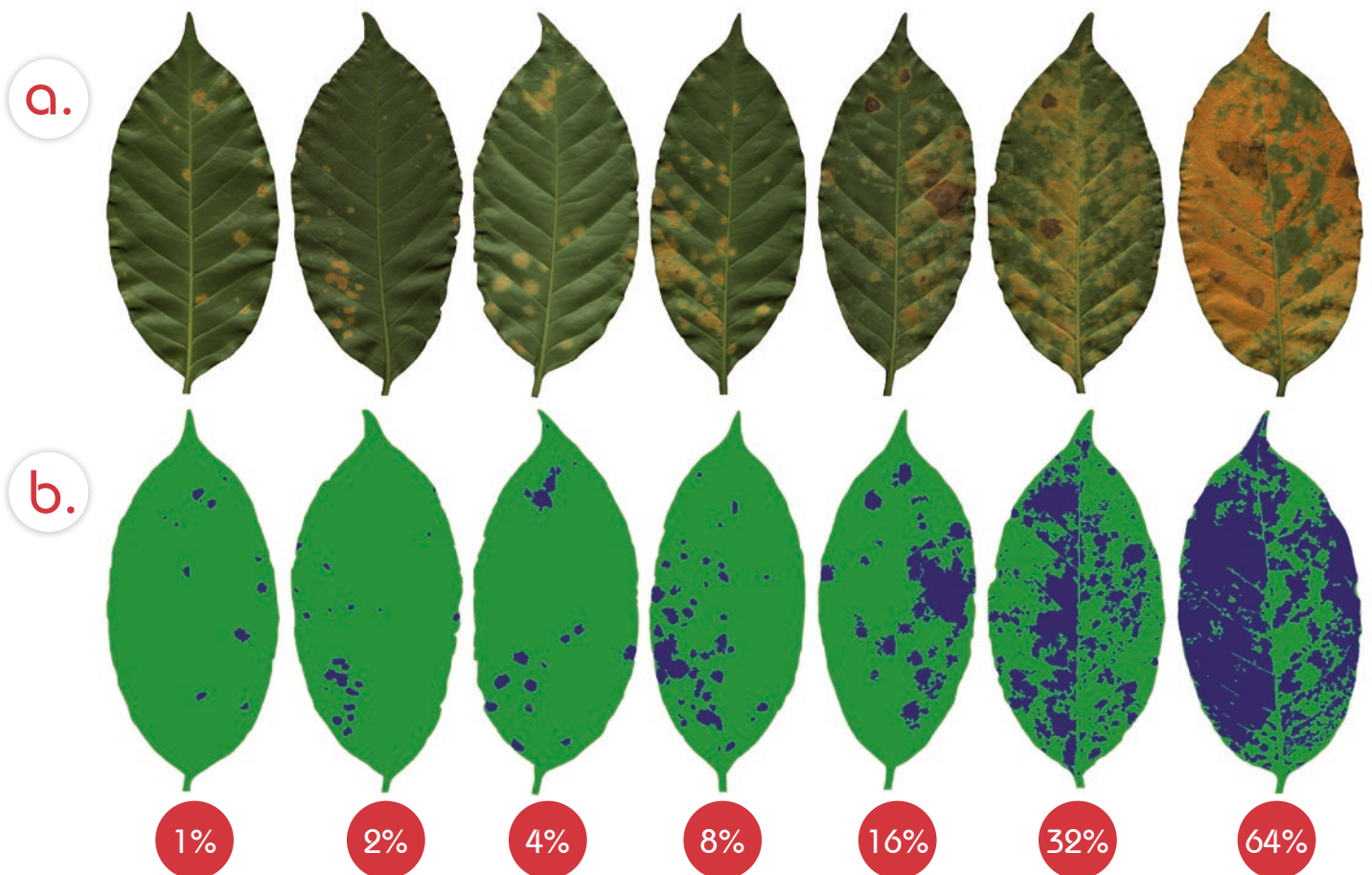


Figura 1. Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya (*H. vastatrix*) sobre hojas de café en el campo. **a.** Lesiones reales por la enfermedad; **b.** Imágenes vectorizadas de lesiones reales causadas por la enfermedad. Los números representan el porcentaje real del tejido afectado por la enfermedad, calculado mediante medición directa y análisis de imágenes mediante software.

Para la validación del nuevo DAE y su comparación objetiva con otros diagramas publicados, se convocaron dos grupos, cada uno con diez personas experimentadas en la evaluación de la enfermedad y diez inexpertos que nunca han estado familiarizados con los conceptos de cuantificación de severidad en enfermedades de plantas. Se realizaron diversos análisis estadísticos para

determinar la exactitud, confiabilidad, concordancia y precisión de las estimaciones de cada evaluador (Lin, 1989), con y sin el uso del nuevo diagrama. Se determinó que este nuevo DAE se comportó mejor que los diagramas publicados para la estimación de la severidad de roya del cafeto en el campo (datos no mostrados).

Práctica de calibración del DAE para la severidad de roya en el campo

El objetivo es familiarizar al usuario en el uso del nuevo DAE para la estimación visual del porcentaje de severidad de roya en hojas en el campo, y ayudar a calibrar o determinar si el usuario está ajustado a los valores reales, o está sobre-estimando o sub-estimando dichos valores. Para esta práctica se siguen los siguientes pasos:

1

Para cada imagen de las 15 hojas de cafeto presentadas en la Figura 2, califique desde 0% hasta 100% el porcentaje de área afectada por roya, tomando como referencia las imágenes y los porcentajes del DAE (Figura 1). Puede usar números decimales.

| Severidad estimada (%) | Hoja | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

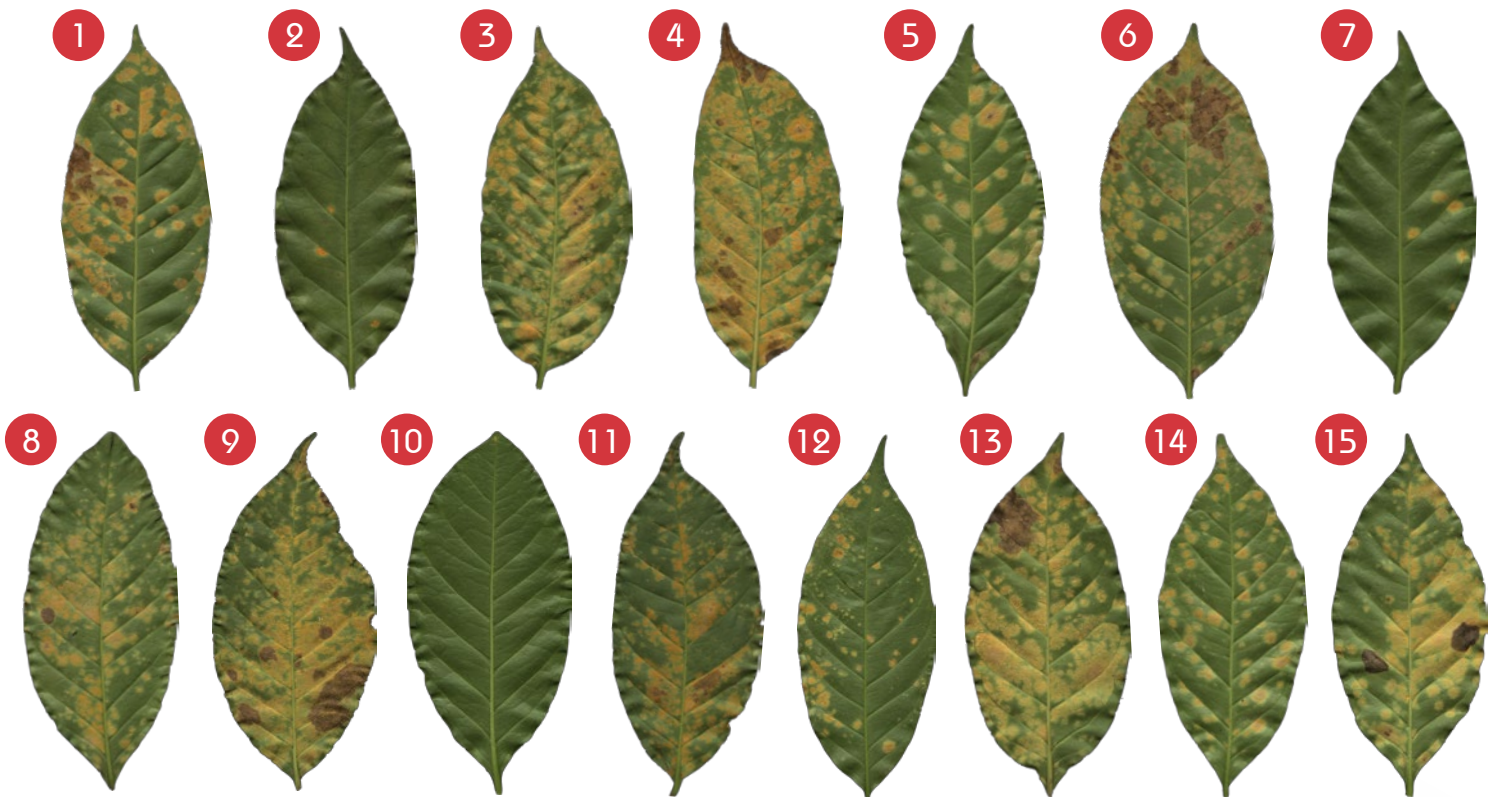


Figura 2. Serie de 15 imágenes de hojas afectadas por la roya del cafeto para calibrar la estimación visual de la severidad (porcentaje de área afectada) mediante el Diagrama de Área Estándar (DAE) desarrollado en Cenicafé.

2

Regístrese en la página web de Cenicafe (www.cenicafe.org) e ingrese al aplicativo disponible en el enlace <https://www.cenicafe.org/es/index.php/servicios/calibro-ya>; indique si se considera Experto o Inexperto para iniciar, ubique el número correspondiente a cada hoja y asigne el valor al porcentaje estimado visualmente de severidad de roya con el apoyo de la figura del DAE.

3

Una vez se han completado todos los campos de valores para todas las hojas, el aplicativo reconoce automáticamente los valores y determina el error entre su calificación y el valor real de área afectada por la roya.

4

Cuando el error se encuentra por encima de la línea base de ajuste con un valor igual a cero, los valores estimados son superiores a los reales, es decir, hubo sobre-estimación. Cuando el error se encuentra por debajo de la línea base de ajuste con valor de cero, los valores estimados son inferiores a los reales, es decir, hubo sub-estimación. Se indicará al final el porcentaje de hojas estimadas con calibración, sub-estimación y sobre-estimación.

5

Para ambos casos de sobre o sub-estimación, debe familiarizarse mejor con el DAE y seguir practicando el ejercicio. La máxima desviación observada para el DAE desarrollado por Cenicafe, para estimación visual de severidad de la roya en el campo ha sido del 15%, pero el objetivo es mantenerlo por debajo del 5% de error absoluto. Para volver a practicar e iniciar una nueva sesión, borre los campos con los valores registrados anteriormente.

Al finalizar no guarde valores ni acepte los cambios en el documento de excel.

Procedimiento para cuantificar porcentajes de incidencia y severidad de roya en el campo

El número de árboles por lote, el número de ramas por árbol y su posición en el árbol se determinan con base en el objetivo de la evaluación. Para las evaluaciones en lotes comerciales de diagnóstico nacional y monitoreo del estado de la caficultura en Colombia, que se realizan con el Servicio de Extensión de la FNC, varias veces durante el año, se evalúan 50 árboles por lote y una rama representativa del tercio productivo del árbol.

1

Para evaluar el lote, la persona debe ubicarse en el centro del primer surco, allí selecciona un árbol y escoge la rama con mayor follaje y con al menos diez hojas presentes en el tercio medio productivo del árbol a evaluar. En cada rama cuenta el número total de hojas presentes y el número de hojas afectadas por la roya como pústulas esporuladas. A cada hoja con roya se le estima el porcentaje de severidad o el área que cubren las lesiones y pústulas, con base en el Diagrama de Área Estándar (DAE); si la hoja está sana se da un valor de cero (0%).

2

Posteriormente, el evaluador recorre el área del lote entre surcos, por el centro de los mismos, y dependiendo el número de surcos selecciona y evalúa hasta completar los 50 árboles por lote, recorriendo todos los surcos a lo largo o ancho del lote, evaluando la rama asignada para cada árbol.

3

Al finalizar el recorrido, se cuenta el total de hojas presentes de todas las ramas de los 50 árboles del lote y el número total de hojas afectadas por roya; también se suman todos los porcentajes de severidad estimados de área con roya de todas las hojas usando el DAE. Se suman porcentajes para cada rama y/o árbol, y luego para todo el lote.

4

Se sugiere organizar de la siguiente manera el registro de los datos:

| Árbol No. | Rama No. | Hojas presentes | Hojas con roya | Porcentaje de área afectada por roya según DAE | | | | | Suma de área con roya (% severidad) | |
|-------------------|----------|-----------------|----------------|--|--------|--------|---------|--------|-------------------------------------|---|
| | | | | Hoja 1 | Hoja 2 | Hoja 3 | Hoja... | Hoja X | | |
| 1 | 1 | | | | | | | | = | % |
| 2 | 2 | | | | | | | | = | % |
| 3 | 3 | | | | | | | | = | % |
| . | . | | | | | | | | = | % |
| . | . | | | | | | | | = | % |
| . | . | | | | | | | | = | % |
| 50 | 50 | | | | | | | | = | % |
| Suma total | | = | = | | | | | | = | % |

5

Luego, se calculan los promedios de incidencia y severidad, así:

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Suma total de hojas con roya en 50 árboles evaluados}}{\text{Suma total del número de hojas presentes en 50 árboles evaluados}} \times 100$$

$$\text{Severidad (\%)} = \frac{\text{Suma total de área con roya en \% de severidad en 50 árboles evaluados}}{\text{Suma total del número de hojas presentes en 50 árboles evaluados}}$$

6

En el caso de otro tipo de evaluaciones de roya, sea en lotes comerciales, parcelas o experimentos, el método de muestreo, el recorrido en el lote y el número de árboles puede variar, según se determine por el tamaño de la muestra a tomar. Se emplean desde 60 o menos árboles por lote o parcela, el número de ramas por árbol va desde una hasta seis ramas o más, y puede realizarse en uno o los tres tercios del árbol (basal, medio productivo y apical) (Rivillas *et al.*, 2011), dependiendo del objetivo de la medición y del área o número de árboles a evaluar.

En los monitoreos y evaluaciones de severidad de roya realizados por Cenicafé usando el DAE, estimando el porcentaje de área afectada por la enfermedad en componentes de las variedades resistentes desarrolladas por FNC - Cenicafé como Castillo zonales y Cenicafé 1, los promedios no superan el 5% del área de la hoja afectada por la roya; es decir, las hojas enfermas tienen al menos un 95% en promedio de su área foliar aún sana, con capacidad para realizar fotosíntesis para la alimentación de tejidos y de frutos de café, además de evitar la caída prematura de la hoja.

Se ha observado variabilidad entre y dentro de algunas progenies componentes, dependiendo del ambiente donde se cultivan. La sanidad y vida útil de una hoja en la rama de un árbol está también condicionada por la edad y senescencia, nutrición, fenología y fisiología de la planta, clima local y manejo agronómico del cultivo.

Consideración final

Bajo las condiciones validadas, el DAE desarrollado en Cenicafé mostró una buena reproducibilidad y confiabilidad en la estimación de la severidad de la roya del café, independientemente de si los evaluadores son expertos o no. Los errores absolutos con el DAE desarrollado en Cenicafé se redujeron significativamente, disminuyendo la sobrestimación o la subestimación de la severidad, y mejoró la exactitud, precisión y concordancia de las estimaciones visuales de severidad. Sin embargo, es necesario el entrenamiento previo y control de calidad del personal evaluador, sobre todo aquel sin experiencia, para unificar criterios de cuantificación, con menor error absoluto. Esto puede asistirse con presentaciones de imágenes impresas o en pantallas de proyectores o computadores.

Agradecimientos

A Jorge D. Ocampo, Carlos A. Zuluaga y Carlos A. González, auxiliares de investigación de Fitopatología, a todo el personal de la Disciplina de Fitopatología de Cenicafé, a los evaluadores expertos e inexpertos voluntarios, y a Rubén Medina M.Sc. de la Disciplina de Biometría de Cenicafé.

Literatura citada

- Alvarado A., G. El café y la roya: Estrategias de resistencia incompleta. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – CENICAFÉ, Chinchiná (Colombia), 2011. 98p.
- Bock, C. H., Chiang, K. S., and Del Ponte, E. M. Accuracy of plant specimen disease severity estimates: Concepts, history, methods, ramifications and challenges for the future. CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour. 11:1-13. 2016.
- Campbell, C.L., and Madden, L.V. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley and Sons. New York, USA. 1990. 532 p.
- Capucho, A. S., Zambolim, L., Duarte, H. S. S., & Vaz, G. R. O. 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. 2011.
- Del Ponte, E.M., Pethybridge, S.J., Bock, C.H., Michereff, S.J., Machado, F.J. and Spolti, P. 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>. 2017.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) – Gerencia Técnica. Informe de Gestión 2018. https://federaciondefcafeteros.org/static/files/Periodico_IJG2018.pdf. Consultado on-line en diciembre 20 de 2018.
- Flórez R., C.P.; Maldonado L., C.E.; Cortina G., H.A.; Moncada B., M. Del P.; Montoya R., E.C.; Ibarra R., L.N.; Unigarro M., C.A.; Rendón S., J.R.; Duque O., H. CENICAFÉ 1: Nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD, con mayor calidad física del grano. Cenicafé, 2016. 8p. (Avances Técnicos Cenicafé No. 469).
- Flórez R., C.P.; Arias S., J.C.; Maldonado L., C.E.; Cortina G., H.; Mocada B., M.D.P.; Quiroga C., J.; Molina V., D.M.; García, J.C.; Duque O., H. Variedades Castillo® zonales, resistencia a la roya con mayor productividad. Cenicafé, 2018. 8p. (Avances Técnicos Cenicafé No. 489).
- Horsfall, J. G., and Barratt, R.W. An improved grading system for measuring plant diseases. Phytopathology 35: 655. 1945.
- Kushalappa, A. C., and Chaves, G. M. An analysis of the development of coffee rust in the field. Fitopatol. Bras. 5:95-183. 1980.
- Lin, L.I. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. Biometrics 45, 255-268. 1989.
- Madden, L.V., Hughes, G. and Van Den Bosch, F. The Study of Plant Disease Epidemics. APS Press, St. Paul. 2007.
- Mora A., G., Acevedo S., G., González G., R., et al. Situación actual del programa de vigilancia epidemiológica fitosanitaria del café y su aplicación en la prevención y control de Roya. Revista Mexicana de Fitopatología, 35 (S):22-27. 2017.
- Nutter, F.W. and Schultz, P.M. Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. Can. J. Plant Pathol. 17:174-184. 1995.
- Peláez P., M.J.; GIL V., L.F. Evaluación en laboratorio y campo de los componentes de la resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* Berk & Br., en progenies de Caturra x Híbrido de Timor. Fitopatología Colombiana 24 (2): 61-72. 2000.
- Programa de Vigilancia Epidemiológico Fitosanitario del Café en México (PVEF-Cafeto). <http://www.royacafe.lanref.org.mx/index.php>. Consultado on-line en marzo de 2019.
- Rivillas O., C.A.; Hoyos G., A.M.; Ramírez P., I.C. Manejo de la roya: Nuevo fungicida para su control en Colombia. Cenicafé, 2017. 4p. (Avances Técnicos Cenicafé No. 480).
- Rivillas, C.A., Serna, C.A., Cristancho, M.A., y Gaitán, A.L. La roya el café en Colombia: impacto, manejo y costos de control. Centro Nacional de Investigaciones de Café – CENICAFE. Caldas, Colombia. 2011. 51 p. (Boletín Técnico N°36).
- SADBank: Standard Area Diagrams of plant disease severity. <http://emdelponete.github.io/sadbank/>. Consultado on-line en diciembre 20 de 2018.
- Villarraga A., L.A.; Baeza A., C.A. Análisis de las relaciones infección y severidad de *Hemileia vastatrix* B. y Br. con defoliación y producción de *Coffea arabica* var. Caturra. Ascolfi Informa (Colombia) 13(6):50-51. 1987.
- Villegas G., C. Velocidad de dispersión de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) a partir de un foco. Universidad de Caldas, Facultad de Agronomía, Manizales, Colombia, (Tesis Ingeniero Agrónomo), 1985. 215 p.

