

560

Avances Técnicos
Cenicafé

Febrero de 2024
Gerencia Técnica /
Programa de Investigación Científica
Fondo Nacional del Café



Diagramas de área estándar para la estimación visual de severidad de gotera del cafeto

La gotera, también conocida como ojo de gallo o mancha americana de la hoja, es una enfermedad causada por el hongo *Mycena citricolor* Berk. & M.A. Curtis. Esta enfermedad es nativa de América y tiene un amplio rango de hospedantes, siendo de importancia económica en el cultivo de café, debido a que no existen variedades resistentes. La enfermedad es policíclica y afecta cultivos localizados a partir de los 700 metros de altitud, en áreas con sombra o poca exposición solar, humedad relativa superior al 80%, alta nubosidad y temperaturas que oscilan entre los 19 y 23°C (Sequeira, 1958; Alvarado, 1933; Rivillas y Castro, 2011).





Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

Gustavo Adolfo Marín Ramírez

Investigador Científico I.

<https://orcid.org/0000-0002-2145-9756>

Carlos Alfonso Doncel Bravo

Auxiliar de Investigación (hasta 2023)

Rosa Lilia Ferrucho

Investigador Científico I.

<https://orcid.org/0000-0003-2362-170X>

Carlos Ariel Ángel Calle

Investigador Científico III (hasta el 2022)

<https://orcid.org/0000-0003-4312-1390>

Disciplina de Fitopatología, Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafe, Manizales, Caldas, Colombia

DOI (Digital Object Identifier)

<https://doi.org/10.38141/10779/0560>

Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafe

Diagramación

Carmenza Bacca Ramírez

Imprenta

ISSN-0120-0178

ISSN-2145-3691 (En línea)

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

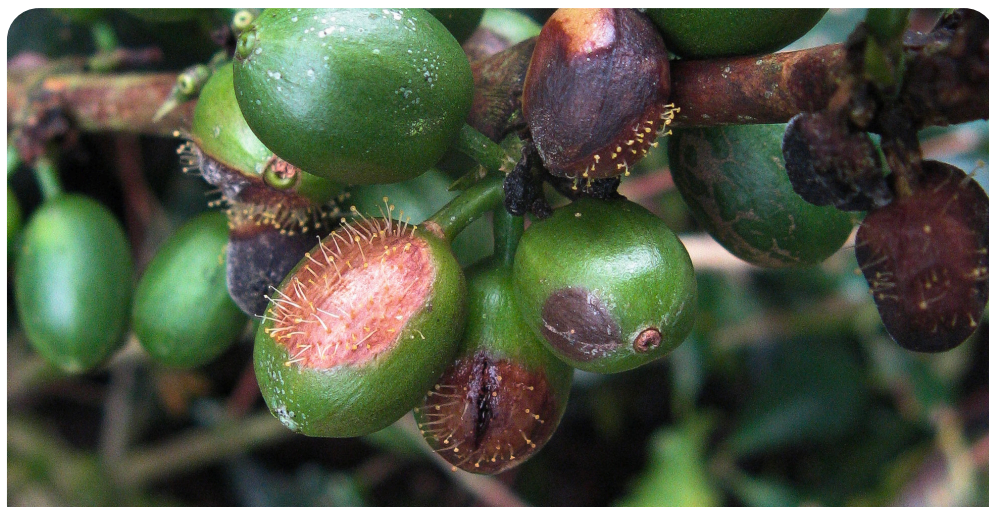
En caso de que las lluvias se intensifiquen y no se cuente con un manejo adecuado, las pérdidas en la calidad y cantidad de la producción pueden oscilar entre el 20% y el 90%. Estas condiciones favorecen la producción y diseminación de nuevo inóculo, además son determinantes para el rápido desarrollo de la epidemia, reflejada en altos niveles de incidencia y severidad de la enfermedad (Alvarado, 1933; Ángel et al., 2019).

M. citricolor afecta todos los órganos aéreos de la planta de café. Los síntomas se caracterizan por la formación de manchas circulares u ovaladas de 5 a 15 mm de diámetro, de color rojo oscuro en las lesiones jóvenes y de color pardo claro en las lesiones viejas. Estas manchas tienen bordes definidos sin clorosis circundante. Sobre las lesiones avanzadas se producen los signos del patógeno, tanto gemas como basidiocarpos. Las lesiones presentan una tendencia a aumentar de tamaño cuando se fusionan unas con otras, proceso que se conoce como coalescencia (Rivillas y Castro, 2011; Ángel et al., 2019; Avelino et al., 2007).

El efecto de la enfermedad sobre el rendimiento de la planta se debe principalmente a defoliaciones severas, daño y caída prematura de frutos de diversas edades, necrosis y muerte de ramas, brotes, tallos e incluso plantas completas. Las plantas son susceptibles en todas las etapas del cultivo, esto compromete los ciclos de renovación cuando las plantas son afectadas en almacigo, y en cultivos establecidos afecta la cantidad y calidad de la producción (Ángel et al., 2019; Avelino et al., 2007; Castaño, 1951).

Cuantificación de las enfermedades

La intensidad de una enfermedad, medida como la proporción de área afectada, se utiliza para muchos propósitos, como la cuantificación de epidemias, estudios de pronóstico, modelación y estimación de pérdidas en cultivos, así como la comparación de prácticas en el manejo integrado y para determinar su relación con el clima y la fenología del cultivo, entre otras aplicaciones (Campbell y Madden, 1990; Kranz, 1988; Large, 1966). Las enfermedades pueden medirse de la siguiente manera:



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. Esta medida es útil para indicar la dispersión de la enfermedad. En el caso de la gotera, esta variable es funcional debido a su impacto local, aunque la enfermedad sea endémica.

INCIDENCIA

Es la proporción o porcentaje de plantas u órganos afectados por la enfermedad en un lote o área, y se obtiene relacionando el número de individuos u órganos de la muestra o población que presentan la enfermedad respecto al total evaluado. Actualmente, esta es la variable de mayor uso y aplicación para la medición de la gotera en el campo, ya que permite cuantificar el porcentaje de hojas afectadas en las ramas o en los árboles evaluados en un lote.

SEVERIDAD

Es la proporción o porcentaje del área de tejido dañado por la enfermedad en las plantas u órganos evaluados. Se trata del nivel de afectación de los individuos u órganos de interés en la muestra o población.

Importancia de evaluar severidad de la gotera del cafeto en Colombia

La gotera ha adquirido importancia económica en Colombia, especialmente en las áreas donde las lluvias prolongadas favorecen su desarrollo.

Ha sido clasificada como una enfermedad emergente y endémica en América. En el campo, la variable utilizada para medir su diseminación es la incidencia de hojas afectadas en las ramas de los diferentes tercios del árbol. La medición de la severidad se ha centrado principalmente en investigaciones relacionadas con la epidemiología y el manejo de la enfermedad (Ángel et al., 2019; Castaño, 1951).

En la actualidad, en Colombia existe un mayor riesgo de aumento de la gotera debido a la expansión de las áreas sembradas de café en zonas geográficas con condiciones climáticas favorables para su desarrollo, tales como la vertiente Oriental de la cordillera Oriental, los Piedemontes Llanero y Amazónico, así como el Sur del país en los departamentos de Nariño y Cauca. Además, factores como la variabilidad climática, relacionada con el fenómeno de “La Niña”, los sistemas de cultivo de café bajo sombra, la susceptibilidad de las variedades y el envejecimiento de los cultivos, favorecen un aumento en la incidencia y severidad de la enfermedad a lo largo del tiempo. Por lo tanto, su evaluación es crucial en el diagnóstico nacional y el monitoreo periódico llevado a cabo por el Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), lo que permitirá lograr una caficultura más eficiente, productiva, rentable y sostenible.

Escalas o Diagramas de Área Estándar (DAE) para la estimación de la severidad

Los DAE son un conjunto de ilustraciones que representan diferentes proporciones de tejido afectado por una enfermedad en órganos de plantas enfermas, expresado en porcentaje. Estos diagramas permiten una estimación rápida y precisa del grado de afectación de la enfermedad a un costo menor que otras técnicas. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado en la medición de la severidad de las enfermedades, con estudios que respaldan su eficiencia y eficacia (kimati et al., 1997; Bergamin y Amorin, 1996; Bock et al., 2016; Madden et al., 2007). Los DAE permiten a los evaluadores aproximar con precisión el porcentaje de severidad de un órgano evaluado en comparación con la referencia. De este modo, reducen la subjetividad de las estimaciones y mejoran la exactitud, precisión y confiabilidad de una evaluación. Además, son fáciles de utilizar, disminuyen el tiempo de evaluación y se aplican a patosistemas específicos (Kimati et al., 1997; James, 1971; Nutter et al., 1995).

En la actualidad, los DAE se emplean en programas de mejoramiento genético de plantas, en sistemas de manejo integrado de enfermedades, en programas de simulación y pronóstico de epidemias desarrollados para sistemas informáticos (Bock et al., 2020; Del ponte et al., 2017). Recientemente, Cenicafé desarrolló DAEs específicos para la roya del cafeto en hojas de *Coffea arabica* (López-Vásquez et al., 2018).

Para la estimación visual de la severidad de la gotera u ojo de gallo en las hojas, se conoce un diagrama desarrollado por Pacheco (2012) en Costa Rica. Sin embargo, su uso y adopción ha sido relativamente bajo, 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

Con el propósito de mejorar la precisión y la exactitud de las evaluaciones cuantitativas de la severidad de la gotera del cafeto en Colombia y hacer que las evaluaciones sean más eficientes y fáciles de realizar en las diferentes investigaciones de Cenicafé sobre biología, epidemiología, resistencia genética y manejo integral de la enfermedad, así como para fortalecer el monitoreo de la enfermedad, se desarrollaron y validaron dos DAE para la gotera del cafeto en el campo: uno para hojas y otro para frutos. Estos diagramas se compararon con los existentes para la gotera y otras enfermedades foliares y de frutos en el café (López-Vásquez et al., 2018; Pacheco, 2012; Azevedo et al., 2016).

El diseño de los DAEs se realizó siguiendo el modelo lineal propuesto por Chiang et al. (2014), para compensar los límites de agudeza visual humana, observando la distribución normal de las frecuencias de severidad. Se recolectaron hojas y frutos con síntomas de la enfermedad en el campo, se tomaron fotografías de 2.380 hojas y 1.290 frutos y se realizó el análisis de imágenes con el paquete Pliman de R (Olivoto, 2022), con el cual se obtuvo el porcentaje de área afectada para cada imagen. La investigación se llevó a cabo en cultivos de *Coffea arabica*, en la Estación Experimental El Tambo (El Tambo, Cauca), lotes comerciales en Miraflores (Boyacá) y en las instalaciones de Cenicafé en La Granja y en la Sede “Pedro Uribe Mejía” (Manizales, Caldas), en Colombia.

El porcentaje de severidad de tejido afectado por la enfermedad encontrado sobre una hoja aún sujeta al árbol osciló entre el 0,11% y el 39,85%, y para frutos sujetos a la rama entre el 4% y el 92% (teniendo en cuenta que el porcentaje de severidad de los frutos se tomó en una sola cara). Fueron asignadas marcas de clase con incremento lineal y determinados los puntos medios para hojas de 0,3%, 0,75%, 1,5%, 3,5%, 7,5%, 15,0%, 25,0% y 35,0% (Figura 1), y para frutos de 3,5%, 7,5%, 15,0%, 25,0%, 35,0%, 45,0%, 55,0%, 65,0%, 75,0% y 85,0% de severidad (Figura 2).

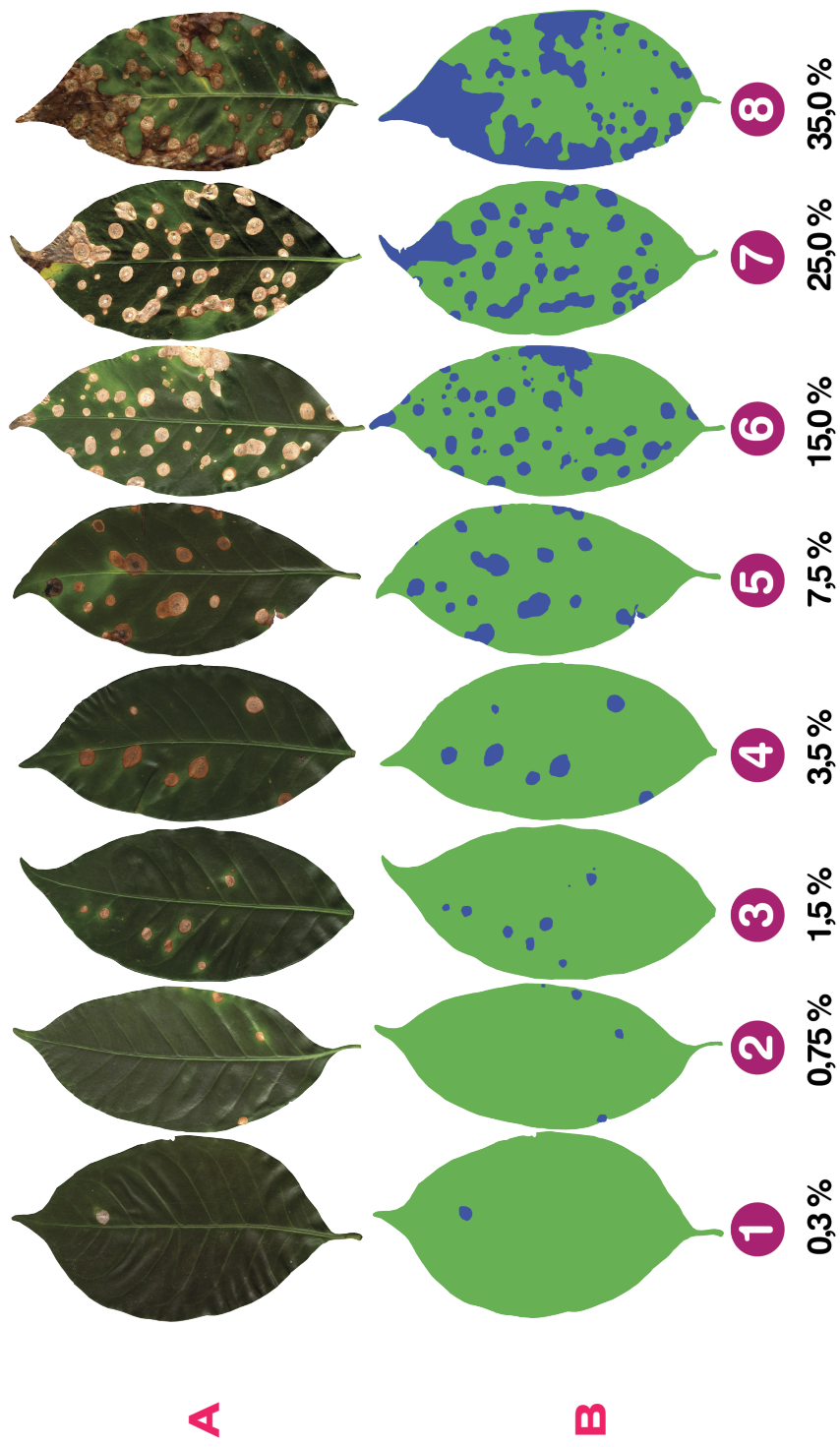


Figura 1. Diagrama de área estándar de severidad de *M. citricolor* (gotera) sobre hojas, con ocho clases, desde 0,3% a 35%. **A.** Las imágenes en la parte superior representan lesiones reales causadas por la enfermedad. **B.** Las imágenes en la parte inferior representan lesiones vectorizadas para facilitar su lectura, para cada una de las ocho clases. Se muestra el porcentaje real de tejido afectado por la enfermedad.

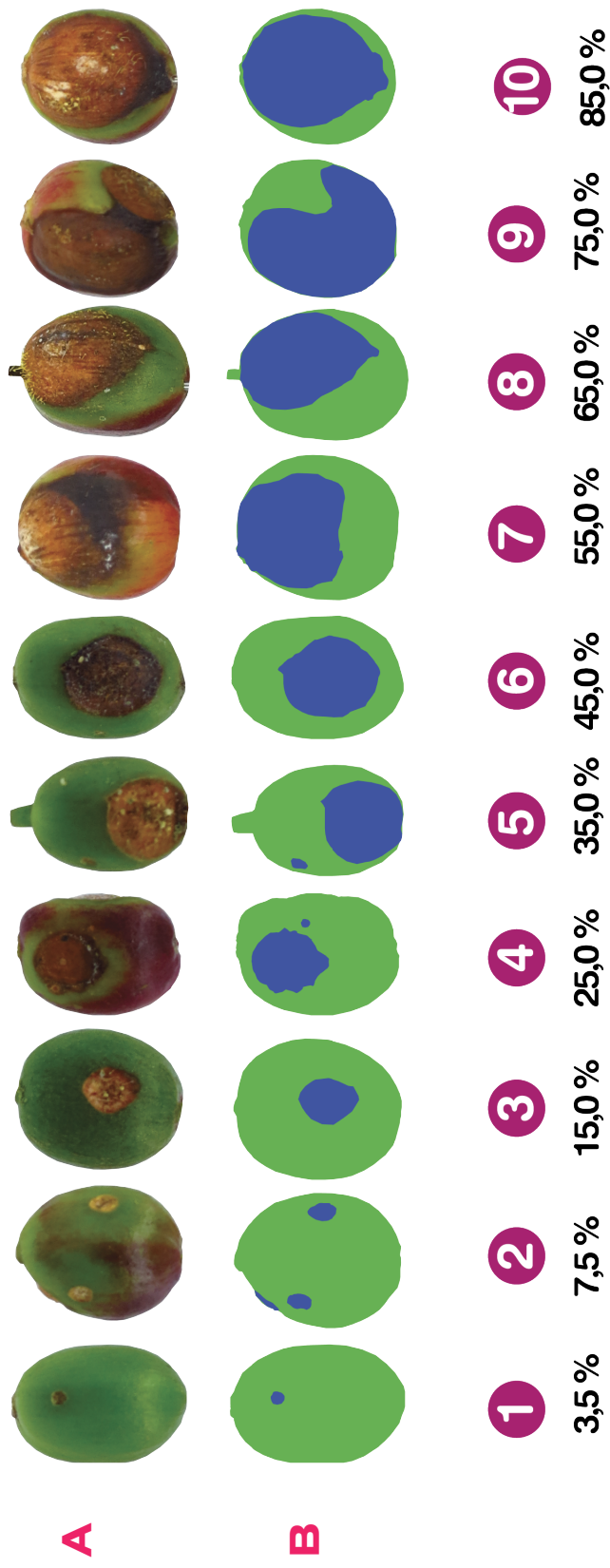


Figura 2. Diagrama de área estándar de severidad de *M. citricolor* (gotera) sobre frutos con diez clases, desde 3,5% a 85,0%. **A.** Las imágenes en la parte superior representan lesiones reales causadas por la enfermedad. **B.** Las imágenes en la parte inferior representan lesiones vectorizadas de cada una de las diez clases, para facilitar su lectura. Se muestra el porcentaje real de tejido afectado por la enfermedad.

Para validar el nuevo DAE y compararlo objetivamente con otros diagramas publicados, se formaron dos grupos: uno compuesto por diez evaluadores experimentados en la cuantificación de la severidad de enfermedades de plantas, y otro grupo, por diez evaluadores inexpertos en el tema. Se realizaron análisis estadísticos para determinar la exactitud, confiabilidad, concordancia y precisión de las estimaciones realizadas por cada evaluador (Bock, 2020; Lin, 1989), tanto con el uso del nuevo diagrama como sin él. Se concluyó que los nuevos DAEs presentaron un mejor desempeño que los diagramas publicados o similares para la estimación de la severidad de la gotera en hojas y frutos de café recolectados en el campo (datos no mostrados).

Ejercicio de calibración de los DAEs para severidad de gotera en el campo

El objetivo de este avance técnico es orientar al usuario en el uso del nuevo DAE para la estimación visual del porcentaje de severidad de la gotera en hojas y frutos en el campo, y facilitar la calibración o determinación de la severidad en el campo. Para llevar a cabo esta práctica, deben seguirse los siguientes pasos:

- 1 Para cada imagen de las 16 hojas o frutos de café (Figuras 3 y 4), califique desde 0% hasta 100% el porcentaje de área afectada por gotera, tomando como referencia las imágenes y los porcentajes del DAE (Figuras 1 y 2).

Severidad Estimada (%)	Hojas / Frutos															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

- 2 Ingrese al aplicativo disponible en el siguiente enlace de la página web de Cenicafé (https://www.cenicafe.org/es/index.php/servicios/calibro_DAEgotera) en el computador. Indique si se considera experto o inexperto para iniciar la evaluación, ubique el número correspondiente a cada hoja/fruto y asigne el valor al porcentaje estimado visualmente de severidad de gotera con el apoyo de las Figuras del DAE (Figuras 1 y 2).
- 3 Una vez se han completado los valores para las 16 hojas o los 16 frutos; oprima el botón calcular, para que el aplicativo determine la diferencia entre su calificación y el valor real de área afectada por gotera.
- 4 Cuando la desviación se encuentra por encima de la línea base (=0), los valores estimados son superiores a los reales, es decir, hubo sobre-estimación. Cuando la desviación se encuentra por debajo de la línea base, los valores estimados son inferiores a los reales, es decir, hubo sub-estimación. El aplicativo generará un reporte del porcentaje de hojas/frutos ajustado a los valores reales, sub-estimado y sobre-estimado.
- 5 En caso de sobre o sub-estimación, debe familiarizarse mejor con el DAE y seguir practicando el ejercicio. La máxima desviación observada durante el proceso de validación de los DAEs presentados en este Avance Técnico fue del 15,0%, para estimación visual de severidad de la gotera en hojas y frutos en el campo, pero el objetivo es mantenerlo por debajo del 5% de error absoluto.

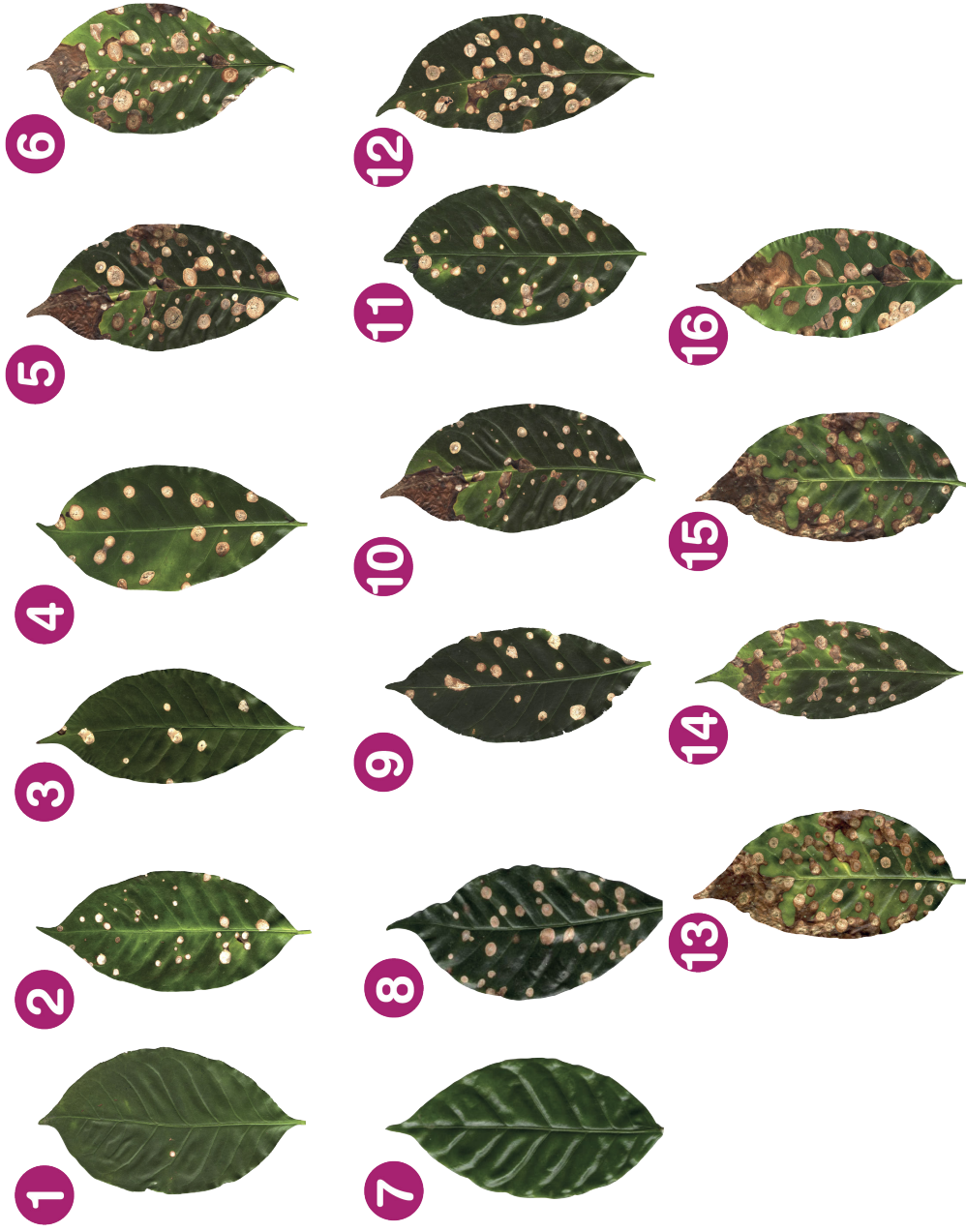


Figura 3. Serie de 16 imágenes de hojas afectadas por la gotera del café para calibrar la estimación visual de la severidad (porcentaje de área afectada) mediante el Diagrama de Área Estándar (DAE) desarrollado en Cenicafé.



Figura 4. Serie de 16 imágenes de frutos afectados por la gotera del café para calibrar la estimación visual de la severidad (porcentaje de área afectada) mediante el Diagrama de Área Estándar (DAE) desarrollado en Cenicafé.

Procedimiento recomendado para cuantificar porcentajes de incidencia y severidad de gotera en el campo (hojas y frutos)

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, de la siguiente manera:

Para evaluar el lote, la persona debe ubicarse en el centro del primer surco, allí selecciona un árbol y escoge la rama en el tercio medio productivo del árbol a evaluar:

1 Hojas. La rama con mayor follaje y con al menos diez hojas presentes del tercio productivo. En cada rama se cuenta el número total de hojas presentes y el número de hojas afectadas por la gotera, como lesiones jóvenes o con estructuras del patógeno. A cada hoja con gotera se le estima el porcentaje de severidad o el área que cubren las lesiones, con base en el Diagrama de Área Estándar (DAE); si la hoja está sana se da un valor de cero (0%).

Frutos. En la rama con mayor número de frutos del tercio productivo contar el número total de frutos presentes y el número de frutos afectados por la gotera con lesiones. A cada fruto con gotera se le estima el porcentaje de severidad o el área que cubren las lesiones por cada cara del fruto, con base en el Diagrama de Área Estándar (DAE); si el fruto está sano 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 del 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, realice los cálculos y determine los porcentajes de severidad estimados, usando los DAEs para gotera en hojas y frutos. Se sugiere organizar de la siguiente manera el registro de los datos:

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

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

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Suma total hojas/frutos con gotera en 50 árboles evaluados} \times 100}{\text{Suma total de hojas/frutos presentes en 50 árboles evaluados}}$$

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

5 | En el caso de otro tipo de evaluaciones de gotera, 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, dependiendo del objetivo de la medición y del área o número de árboles a evaluar (López-Vásquez et al., 2018).

Consideración final

Los DAEs desarrollados en Cenicafé son reproducibles y confiables en la estimación de la severidad de gotera en hojas y frutos de 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 mejoraron la exactitud, precisión y concordancia de las estimaciones visuales de la 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.

Familia Caficultora

Al estimar la incidencia y severidad de gotera en su lote de café puede establecer un plan de manejo oportuno y seguro con el Extensionista de la FNC de su región.



Literatura citada

- Alvarado, J. A. (1933). La gotera en los cafetales. *Revista Cafetera de Colombia*, 5(054-057). 1726-1728.
- Ángel, C. A., Rivillas, C. A., Arciniegas, N., & López, J. M. (2018). Bases para el manejo de la gotera u ojo de gallo del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafe*, 490, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0490>
- Avelino, J., Cabut, S., Barboza, B., Barquero, M., Alfaro, R., Esquivel, C., Durand, J. F., & Cilas, C. (2007). Topography and Crop Management Are Key Factors for the Development of American Leaf Spot Epidemics on Coffee in Costa Rica. *Phytopathology*, 97(12), 1532-1542. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-12-1532>
- Azevedo De Paula, P. V. A., Pozza, E. A., Santos, L. A., Chaves, E., Maciel, M. P., & Paula, J. C. A. (2016). Diagrammatic Scales for Assessing Brown Eye Spot (*Cercospora coffeicola*) in Red and Yellow Coffee Cherries. *Journal of Phytopathology*, 164(10), 791-800. <https://doi.org/10.1111/jph.12499>
- Bergamin Filho, A., & Amorim, L. (1996). *Doenças de Plantas Tropicais*. Agronômica Ceres.
- Bock, C. H., Barbedo, J. G. A., Del Ponte, E. M., Bohnenkamp, D., & Mahlein, A. K. (2020). From visual estimates to fully automated sensor-based measurements of plant disease severity: Status and challenges for improving accuracy. *Phytopathology Research*, 2(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s42483-020-00049-8>
- Bock, C. H., Chiang KuoSzu, C. K., & Del Ponte, E. M. (2016). Accuracy of plant specimen disease severity estimates: Concepts, history, methods, ramifications and challenges for the future. *CABI Reviews*, 1-21. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR201611032>
- Campbell, C. L., & Madden, L. V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. John Wiley & Sons.
- Castaño, A. (1951). Principales causas predisponentes para la enfermedad de la gotera en nuestros cafetales. *Revista Cafetera de Colombia*, 10(122). 3750-3756.
- Chiang, K. S., Liu, S.-C., Bock, C. H., & Gottwald, T. R. (2014). What Interval Characteristics Make a Good Categorical Disease Assessment Scale? *Phytopathology*, 104(6), 575-585. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-13-0279-R>
- Del Ponte, E. M., Pethybridge, S. J., Bock, C. H., Michereff, S. J., Machado, F. J., & Spolti, P. (2017). Standard Area Diagrams for Aiding Severity Estimation: Scientometrics, Pathosystems, and Methodological Trends in the Last 25 Years. *Phytopathology*, 107(10), 1161-1174. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-17-0069-FI>
- James, W. C. (1971). An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. *Canadian Plant Disease Survey*, 51(2), 39-65.
- Kimati, H., Amorim, L., Bergamin Filho, A., Camargo, L. E. A., & Rezende, J. A. M. (Eds.). (1997). *Manual de fitopatología* (Vol. 2). Agronômica Ceres.
- Kranz, J. (1988). Measuring Plant Disease. En J. Kranz & J. Rotem (Eds.), *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology* (pp. 35-50). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-95534-1_4
- Large, E. C. (1966). Measuring Plant Disease. *Annual Review of Phytopathology*, 4(1), 9-26. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.04.090166.000301>
- Lin, L. I. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45(1), 255-268. <https://doi.org/10.2307/2532051>
- López-Vásquez, J. M., Marín-Ramírez, G., Gaitán, A., & Ángel, C. A. (2018). Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 498, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0498>
- Madden, L. V., Hughes, G., & Van Den Bosch, F. (2017). *The Study of Plant Disease Epidemics*. The American Phytopathological Society. <https://doi.org/10.1094/9780890545058>
- Nutter, F. W., & Schultz, P. M. (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>
- Olivoto, T. (2022). Lights, camera, pliman! An R package for plant image analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(4), 789-798. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13803>
- Pacheco Sapón, A. R. (2012). *Epidemiología de la enfermedad ojo de gallo del café (Coffea arabica) causada por el hongo Mycena citricolor Berk. & Curt. En el área centro occidental de Guatemala, CA* [Tesis de pregrado]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rivillas, C. A., & Castro, A. M. (2011). Ojo de gallo o gotera del café *Omphalia flavida*. *Boletín Técnico Cenicafe*, 37, 1-25. <http://hdl.handle.net/10778/596>
- Sequeira, L. (1958). The host range of *Mycena citricolor*. *Turrialba*, 8(4), 136-147.

